



Volumen I Memoria

***Proyecto de cálculo y dimensionado de estructura para
cubierta retráctil.***

***Análisis de caso comparativo utilizando las legislaciones
europea y argelina***

UNIVERSITAT JAUME I

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

TRABAJO FIN DE GRADO

AUTOR/A

Javier Martí Miralles

DIRECTOR/A

Alejandro Doménech Monforte

Castellón, Noviembre de 2016

Agradecimientos

Quiero agradecer este proyecto a mis padres, por darme las oportunidades que ellos no tuvieron.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I: Introducción.....	23
1. Objetivos y alcance del proyecto	25
2. Estructura del proyecto	28
Capítulo II: Antecedentes.....	29
1. Consideraciones previas	31
1.1. Estructura	31
1.2. Propiedades del acero estructural	31
1.3. Características mecánicas del acero	32
1.4. Herramienta de cálculo CYPE v.2016	32
Capítulo III: Bases del proyecto.....	35
1. Condicionantes del promotor.....	37
2. Condiciones legales.....	37
3. Normativa de carácter general	38
3.1. Normativa de construcción vigente en España.....	38
3.2. Normativa de construcción vigente en Argelia.....	38
Capítulo IV: Descripción del proyecto.....	41
1. Diseño constructivo	43
2. Descripción de la cubierta metálica.....	43
3. Localización de obra y datos medioambientales.....	45
4. Cargas consideradas.....	48
5. Bases de cálculo	48
5.1. Para la estructura se verifica	49
5.1.1. Capacidad portante.....	49
5.1.2. Aptitud al servicio	49

5.1.3. Combinación de acciones	50
Capítulo V: Elementos estructurales.....	55
1. Pilares.....	57
2. Vigas pórticos.....	57
3. Arriostramientos.....	57
3.1. Tirantes.....	57
3.2. Bastidores de los tirantes.....	58
3.3. Correas	58
3.4. Vista 3D estructura metálica	60
4. Medios de unión	62
4.1. Uniones atornilladas.....	62
4.2. Uniones soldadas.....	62
5. Elementos de la cubierta	63
5.1. Placas de policarbonato	63
5.2. Juntas.....	64
5.3. Perfiles remataria	65
6. Cimientos	65
Capítulo VI: Elementos del sistema de transmisión	69
1. Motor	71
2. Cremallera.....	71
3. Engranaje	71
4. Guías cremallera.	72
5. Railes.....	72
6. Carros.....	72
7. Placas de arrastre.....	73
8. Rodamientos.....	74

Capítulo VII: Memoria de cálculo.....	77
1. Datos de la localización.....	79
2. Características generales.....	79
3. Hipótesis.....	79
3.1. Hipótesis de viento.....	79
3.2. Hipótesis al completo.....	80
4. Combinación de acciones.....	80
5. Cargas aplicadas sobre la estructura (legislación española) CTE.....	91
5.1. Acciones permanentes.....	91
5.1.1. Peso propio.....	91
5.2. Acciones variables.....	92
5.2.1. Sobrecarga de uso.....	92
5.2.2. Acciones del viento.....	93
5.2.3. Acciones térmicas.....	111
5.2.4. Acciones nieve.....	111
5.3. Acciones accidentales.....	112
5.3.1. Acciones sísmicas.....	112
5.3.2. Acciones sobre el terreno.....	115
6. Cargas aplicadas sobre la estructura (Legislacion argelina) DTR.....	115
6.1. Acciones permanentes.....	115
6.1.1. Peso propio.....	115
6.2. Acciones variables.....	116
6.2.1. Sobre carga de uso.....	116
6.2.2. Acciones por viento.....	117
6.2.3. Acciones térmicas.....	133
6.2.4. Carga de arena.....	134

6.3.	Acciones accidentales.....	134
6.3.1.	Antecedentes sísmicos en Argelia.	134
6.3.2.	Acciones sismo.....	134
6.3.3.	Acciones sobre el terreno.	140
7.	Cálculo de la estructura metálica.....	140
7.1.	Descripción vinculaciones	140
7.1.1.	Vinculaciones externas	140
7.1.2.	Vinculaciones internas	141
7.2.	Flecha.....	142
7.3.	Desplome.....	142
7.4.	Pandeo.....	142
7.4.1.	Coefficiente pandeo en pilares	144
7.4.2.	Coefficiente pandeo en vigas pórticos.....	144
7.4.3.	Coefficiente pandeo en elementos longitudinales	145
7.4.4.	Pandeo lateral	146
7.4.5.	Coefficiente de momento equivalente	147
7.4.6.	Coefficiente de momento equivalente, pandeo lateral.....	147
7.4.7.	Factor de modificación del momento crítico.....	147
Capítulo VIII:	Resultados	149
1.	Resultados bajo normativa CTE (normativa española).....	151
1.1	Análisis de la estructura en su conjunto	151
1.1.1	Desplazamientos	151
1.1.2	Aprovechamiento.....	160
1.2	Comprobaciones ELU detallado de pórticos relevantes	161
1.2.1	Módulo nº1	161
1.2.2	Módulo nº2	161

1.2.3	Modulo nº7	161
1.3	Reacciones módulo 1.	161
2.	Resultados bajo normativa DTR (normativa argelina).....	162
2.1	Análisis de la estructura en su conjunto	162
2.1.1	Desplazamientos	162
2.1.2	Aprovechamiento.....	172
2.2	Comprobaciones ELU detallado de pórticos relevantes	173
5.1.1	Módulo nº1	173
5.1.2	Módulo nº2	173
5.1.3	Modulo nº7	173
5.2	Reacciones módulo 1	173
3.	Análisis estructura refuerzo.	174
6.1	Deformaciones estructura inicial propuesta.....	175
6.2	Descripción nueva estructura	177
6.3	Análisis nueva estructura	179
6.3.1	Desplazamientos	180
6.3.2	Esfuerzos en pilares	182
6.3.3	Esfuerzos en estructura tubular.....	186
6.3.4	Comprobaciones	189
4.	Comparación entre resultados CTE y DTR	190
4.1	Esfuerzos sobre portico del modulo 2.....	190
4.2	Análisis de cargas de viento de los diferentes reglamentos	197
4.3	Reacciones exteriores módulo 2	198
4.4	Desplazamiento peso propio módulo 2, comparación	199
	Capítulo IX: Análisis de legislaciones.....	201
1.	Causa de las diferencias en los resultados de presión estática.....	203

2.	Cadencias de CTE DB SE-AE (legislación española).....	206
2.1.	Cadencias en la definición de las acciones de viento.....	206
2.2.	Cadencias en la definición de las acciones de nieve.....	209
3.	Cadencias de DTR RNV 99 C 2-47 (legislación argentina).	209
3.1.	Cadencias en la definición de las acciones de viento.....	209
4.	Determinación de la acción del viento frente a huecos grandes	212
	Capítulo X: Pliego de condiciones	213
1	Pliego de condiciones generales.....	215
1.1	Alcance del presente pliego de condiciones.....	215
1.2	Documentos que definen el presente proyecto.	215
1.3	Nombramiento de la dirección facultativa.	216
2	Pliego de condiciones técnicas.	217
2.1	Acondicionamiento del terreno.	217
2.1.1	Limpieza del terreno.	217
2.2	Materiales y equipos. Condiciones técnicas exigibles.	217
2.2.1	Hormigón.	217
2.2.2	Armaduras.....	217
2.2.3	Acero estructural.	218
2.2.4	Pernos ordinarios.....	218
2.2.5	Pernos de alta resistencia.	218
2.2.6	Pernos autopercutor.	218
2.3	Condición de particulares de recepción de materiales.....	219
2.3.1	Acero estructural	219
2.3.2	Pernos de acero	219
2.4	Cimentaciones.....	220
2.4.1	Encofrado.....	220

2.4.2	Armaduras.....	220
2.4.3	Hormigón	220
2.5	Ejecución	221
2.5.1	Condiciones generales	221
2.5.2	Preparación de los materiales	221
2.5.3	Perforaciones	221
2.5.4	Trazados	221
2.5.5	Marcas de taller	221
2.5.6	Uniones atornilladas	222
2.5.7	Uniones soldadas	222
2.5.8	Corte de material	222
2.5.9	Montaje de la cubierta y cerramientos	222
2.6	Soldaduras.....	223
2.6.1	Calidad soldaduras	223
2.6.2	Soldadores.....	223
2.6.3	Material de aporte	223
2.6.4	Ejecución de las soldaduras	223
2.6.5	Preparación de las superficies	223
2.6.6	Procedimiento de la soldadura	224
2.6.7	Inspección de las soldaduras	224
2.7	Control de la estructura. Criterios de aceptación y rechazo.....	224
2.7.1	Control de la implantación de las cimentaciones.....	224
2.7.2	Materiales	225
2.7.3	Ejecución	225
2.8	Pintura	226
2.8.1	Materiales	226

2.8.2	Preparación de las superficies	226
2.8.3	Ejecución	227
2.8.4	Control.....	227
2.9	Transporte	227
2.10	Almacenamiento.....	228
2.11	Puesta en obra. Descarga en obra.....	228
2.12	Condiciones de seguridad en el trabajo	229
2.13	Conservación y mantenimiento.....	229
3	Pliego de condiciones facultativas	230
3.1	Obligaciones de la empresa constructora.....	230
3.2	Delimitación general de los agentes de la edificación.....	230
3.2.1	Promotor	230
3.2.2	Proyectista	230
3.2.3	Constructor	231
3.2.4	Director Facultativo.....	232
3.2.5	Director de la ejecución de la obra	232
3.3	Propiedad	233
3.4	Comienzo de los trabajos	233
3.5	Recepción de los materiales.....	234
3.6	Transporte	234
3.7	Ejecución de los trabajos.....	234
3.8	Plazo de entrega	234
3.9	Prórrogas	235
3.10	Recepción de la obra	235
3.11	Garantía	235
3.12	Responsabilidades	235

3.13	Reclamaciones	236
3.14	Seguro de los trabajos	236
4	Pliego de condiciones económicas	237
4.1	Mediciones	237
4.2	Valoraciones	237
4.3	Base fundamental.....	237
4.4	Garantías	237
4.5	Fianzas	237
4.6	Presupuesto i precios	238
4.7	Formas de pago	238
4.8	Gastos de carácter general.....	239
4.9	Responsabilidades y primas	239
4.10	Indemnización por daños de causa mayor	239
4.11	Impuestos	239
5	Pliego de condiciones legales	240
5.1	Jurisdicción	240
5.2	Recesión del contrato.....	240
5.3	Resolución del contrato.....	240
5.4	Litigios.....	240
5.5	Daños y perjuicios	241
Capítulo XI: Mediciones		243
1.	Listado pórtico 1.....	245
1.1.	Resumen medición	245
1.2.	Medición de superficies	245
2.	Listado pórtico 2.....	245
2.1.	Resumen medición	246

2.2.	Medición de superficies	246
3.	Listado pórtico 3.....	246
3.1.	Resumen medición.....	246
3.2.	Medición de superficies	247
4.	Listado pórtico 4.....	247
4.1.	Resumen medición.....	247
4.2.	Medición de superficies	247
5.	Listado pórtico 5.....	248
5.1.	Resumen medición.....	248
5.2.	Medición de superficies	248
6.	Listado pórtico 6.....	249
6.1.	Resumen medición.....	249
6.2.	Medición de superficies	249
7.	Listado pórtico 7.....	249
7.1.	Resumen medición.....	250
7.2.	Medición de superficies	250
8.	Listado estructura al completo	250
8.1.	Resumen medición.....	251
8.2.	Medición de superficies	251
9.	Listado marco frontal pórtico 7	252
9.1.	Resumen medición.....	252
9.2.	Medición superficie.....	252
10.	Listado marco frontal pórtico 1	252
10.1.	Resumen medición	252
10.2.	Medición superficies.....	252
11.	Listado estructura refuerzo pórtico 1	253

11.1.	Resumen medición	253
11.2.	Medición superficies.....	253
12.	Elementos transmisión electromecánica.....	253
Capítulo XII: Presupuesto.....		255
1.	Acero estructura	257
2.	Pintura Estructura	258
3.	Cerramiento	259
4.	Tornillería	260
5.	Transmisión electro-mecánica	260
6.	Maquinaria montaje	260
7.	Transporte.....	261
8.	Total	261
Capítulo XIII: Conclusiones.....		263

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1 Interior cubierta	26
Imagen 2 Alzados Este Oeste	26
Imagen 3 Alzados Sur Norte.....	27
Imagen 4 Posición 1 Google maps	45
Imagen 5 Posición 2 Google maps	46
Imagen 6 Posición 3 Google maps	46
Imagen 7 Posición 4 Google maps	47
Imagen 8 Posición 5 Google maps	47
Imagen 9 Detalle posición correas.....	59
Imagen 10 Estructura 3D módulos	60
Imagen 11 Vista frontal dela cubierta.....	60
Imagen 12 Vista 3D frontal cónica de la cubierta.....	61
Imagen 13 Vista 3D cónica de la cubierta.....	61
Imagen 14 Vista 3D cónica de la cubierta.....	61
Imagen 15 Detalle cinta aluminio policarbonato.....	64
Imagen 16 Remate unión paneles	65
Imagen 17 Remate unión paneles	65
Imagen 18 Detalle railes sobre cimientos. Extracto plano nº-3	66
Imagen 19 Cimientos. Extracto plano nº 3	67
Imagen 20 Detalle módulos recogidos	73
Imagen 21 Detalle módulos cubriendo piscina.....	74
Imagen 22 Rodamiento FAG 32210	74
Imagen 23 Rodamiento FAG 32210	75
Imagen 24 Hipótesis de viento cubierta cerrada.....	79
Imagen 25 Hipótesis de viento cubierta abierta.....	79
Imagen 26 Cubierta cerrada	97
Imagen 27 Cubierta un pórtico abierto	98
Imagen 28 Cubierta dos pórticos abiertos.....	98
Imagen 29 Cubierta tres pórticos abiertos	99
Imagen 30 Cubierta cuatro pórticos abiertos.....	99

Imagen 31 Cubierta cinco pórticos abiertos	100
Imagen 32 Cubierta seis pórticos abiertos	100
Imagen 33 Zonas viento lateral paramentos laterales	105
Imagen 34 Zonas viento frontal paramentos frontales	105
Imagen 35 Zonas de viento lateral sobre cubierta cilíndrica Tabla D.12 CTE DB SE-AE	107
Imagen 36 Zonas de viento sobre cubierta a dos aguas	108
Imagen 37 Zonas de viento sobre marquesina a dos aguas	110
Imagen 38 Mapa de peligrosidad sísmica en España	113
Imagen 39 Grafica Cd , Figure 3.2. Valeurs de Cd pour les structures métalliques del DTR C 2-47	119
Imagen 40 Zonas de viento paramentos verticales para viento lateral	125
Imagen 41 Zonas de viento paramentos verticales para viento frontal.....	125
Imagen 42 Zonas de viento para cubierta cilíndrica, Figure 5.8 DTR C 2-47	126
Imagen 43 Zonas de viento para cubierta a dos aguas, Figure 5.4 DTR C 2-47	128
Imagen 44 Zonas de nieve sobre cubierta cilíndrica, Figure 6.6 DTR C 2-47	132
Imagen 45 Zonas sísmicas en Argelia, Figure 3.1 DTR C 2-47	135
Imagen 46 Deformaciones estructura perfil.....	151
Imagen 47 Deformaciones estructura alzado.....	152
Imagen 48 Zonas de viento en cubierta cilíndrica	152
Imagen 49 Deformaciones estructura vista cónica	152
Imagen 50 Deformación estructura alzado	153
Imagen 51 Deformaciones estructura perfil.....	153
Imagen 52 Deformaciones estructura planta	154
Imagen 53 Deformaciones estructura alzado.....	154
Imagen 54 Deformaciones estructura alzado.....	155
Imagen 55 Deformaciones estructura perfil.....	155
Imagen 56 Deformaciones estructura perfil.....	156
Imagen 57 Deformaciones estructura vista cónica	156
Imagen 58 Deformaciones estructura alzado.....	157
Imagen 59 Deformaciones estructura perfil.....	157
Imagen 60 Deformaciones estructuras vista cónica.....	158
Imagen 61 Deformaciones alzado.....	158

Imagen 62 Deformaciones alzado con estructura inicial.....	159
Imagen 63 Imagen deformación perfil	159
Imagen 64 Deformación perfil con estructura inicial	159
Imagen 65 Deformacion vista cónica.....	160
Imagen 66 Estructura aprovechamiento	160
Imagen 67 Reacciones módulo 1 CTE	162
Imagen 68 Deformaciones estructura perfil.....	163
Imagen 69 Deformaciones estructura alzado.....	164
Imagen 70 Deformaciones alzado con estructura inicial.....	164
Imagen 71 Zonas viento sobre cubierta cilíndrica	164
Imagen 72 Deformaciones vista cónica	165
Imagen 73 Deformaciones estructura planta	165
Imagen 74 Deformaciones alzado.....	166
Imagen 75 Deformaciones alzado con estructura inicial.....	166
Imagen 76 Deformaciones perfil estructura inicial.....	167
Imagen 77 Deformaciones vista cónica	167
Imagen 78 Deformaciones perfil con estructura inicial.....	168
Imagen 79 Deformaciones vista cónica con estructura inicial	168
Imagen 80 Deformaciones alzado.....	169
Imagen 81 Deformaciones alzado con estructura inicial.....	169
Imagen 82 Deformaciones perfil.....	170
Imagen 83 Deformaciones vista cónica	170
Imagen 84 Deformaciones alzado.....	171
Imagen 85 Deformaciones alzado con estructura inicial.....	171
Imagen 86 Deformaciones perfil con estructura inicial.....	171
Imagen 87 Deformaciones vista cónica	172
Imagen 88 Aprovechamiento estructura	172
Imagen 89 Reacciones módulo 1 DTR.....	174
Imagen 90 Vistas perfil, cónica y planta de estructura de refuerzo plana	175
Imagen 91 Deformación estructura refuerzo plana vista cónica.....	176
Imagen 92 Deformación estructura refuerzo plana vista perfil.....	176
Imagen 93 Deformación estructura refuerzo plana perfil.....	177

Imagen 94 Perfil estructura de refuerzo tubular	178
Imagen 95 Alzado estructura tubular de refuerzo.....	178
Imagen 96 Alzado estructura tubular de refuerzo en módulo 1	178
Imagen 97 Perfil estructura tubular de refuerzo en módulo 1	178
Imagen 98 Estructura tubular de refuerzo en módulo 1	179
Imagen 99 Deformaciones vista cónica	180
Imagen 100 Deformaciones perfil.....	181
Imagen 101 Deformaciones perfil.....	182
Imagen 102 Deformaciones vista cónica	182
Imagen 103 Axil en pilar.....	183
Imagen 104 Cortante y en pilar	183
Imagen 105 Cortante z en pilar.....	184
Imagen 106 Momento torsor en pilar	184
Imagen 107 Momento y en pilar.....	185
Imagen 108 Momento z en pilar.....	185
Imagen 109 Esfuerzo axil en tubo superior	186
Imagen 110 Esfuerzo axil en tubo inferior.....	186
Imagen 111 Esfuerzo axil en tubo intermedio.....	187
Imagen 112 Cortante z en tubo superior.....	187
Imagen 113 Flecha plano xy en tubo superior.....	188
Imagen 114 Flecha en plano xz tubo superior.....	188
Imagen 115 Marco frontal módulo 1.....	189
Imagen 116 Desplazamiento módulo 2 CTE	199
Imagen 117 Desplazamiento módulo 2 alzado CTE.....	200
Imagen 118 Desplazamiento módulo 2 DTR.....	200
Imagen 119 Desplazamiento módulo 2 alzado DTR	200
Imagen 120 Coeficientes de exposición CTE.....	204
Imagen 121 categorías de terreno DTR	205
Imagen 122 Clasificación situación DTR.....	205
Imagen 123 Grado aspereza del entorno CTE	207
Imagen 124 Zonas de viento en paramentos laterales para viento frontal	207
Imagen 125 Zonas de viento paramento laterales para viento lateral	208

Imagen 126 Extracto tabla coeficientes de presión exterior para marquesinas CTE	209
Imagen 127 Valores de Cd para estructuras metálicas DTR	210
Imagen 128 Grafica con coeficientes de presión interna	211

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla 4.1 coeficientes parciales de seguridad CTE DB SE-AE.....	52
Tabla 2 Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad CTE DB SE-AE.....	53
Tabla 3 Coeficientes parciales de seguridad y de combinación	53
Tabla 4 Coeficientes parciales de seguridad y de combinación	53
Tabla 5 Coeficientes parciales de seguridad y de combinación	54
Tabla 6 Coeficientes parciales de seguridad.....	54
Tabla 7 Coeficientes parciales de seguridad.....	54
Imagen 8 Perfil genérico HEB.....	57
Tabla 9 Combinaciones acciones	81
Tabla 10 Combinatoria acciones.....	90
Tabla 11 Valores característicos de las sobrecargas de uso Tabla 3.1. CTE DB SE-AE.....	93
Tabla 12 Hipótesis de viento CTE.....	94
Tabla 13 Hipótesis de viento CTE.....	94
Tabla 14 Valores del coeficiente de exposición Ce Tabla 3.4. del CTE DB SE-AE.....	96
Tabla 15 Coeficientes de presión interior Tabla 3.6 CTE DB SE-AE.....	102
Tabla 16 Coeficientes presión interior gráficos	102
Tabla 17 Valores de presión y succión interior.....	103
Tabla 18 Paramentos verticales Tabla D.3 del CTE DB SE-AE	104
Tabla 19 Valores de presión exterior en paramentos verticales.....	104
Tabla 20 Valores de presión exterior en cubierta cilíndrica.....	107
Tabla 21 Cubierta a dos aguas Tabla D.6 b) del CTE DB SE-AE	109
Tabla 22 Valores de presión externa sobre cubierta a dos aguas	109
Tabla 23 Valores de presión externa sobre marquesina	110
Tabla 24 Coeficientes de presión de marquesina a dos aguas Tabla D11 del CTE DB SE-AE	111
Tabla 25 Valores característicos de las sobrecargas de uso	117
Tabla 26 Hipótesis de viento cubierta cerrada	117
Tabla 27 Hipótesis de viento cubierta abierta.....	118

Tabla 28 Categorías de terreno, Tableau 2.4 Définition des catégories de terrain del DTR C 2-47	122
Tabla 29 Coeficientes de presión exterior paramentos laterales, Tableau 5.1 del DTR C 2-47 ...	124
Tabla 30 Presión exterior paramentos verticales	124
Tabla 31 Valores de presión externa en cubierta cilíndrica.....	127
Tabla 32 Coeficientes de presión externa sobre cubierta a dos aguas, Tableau 5.4 DTR C 2-47.	129
Tabla 33 Valores de presión sobre cubierta a dos aguas.....	129
Tabla 34 Valores de presión en marquesina a dos aguas.....	131
Tabla 35 Coeficientes de presión externa marquesina, Tableau 5.9 DTR C 2-47.....	131
Tabla 36 Coeficientes de aceleración, Tableau 4.1. del DTR C 2-47.....	137
Tabla 37 Valor del coeficiente de amortiguamiento, Tableau 4.2 del DTR C 2-47.....	138
Tabla 38 Valor del coeficiente de comportamiento, Tableau 4.3 del DTR C 2-47.....	139
Tabla 39 Tabla de factor de calidad	140
Tabla 40 Coeficiente canónicos de pandeo	143
Tabla 41 Pandeo viga	145
Tabla 42 Coeficientes de momento equivalente	147
Tabla 43 Coeficiente de momento equivalente en pandeo lateral.....	147
Tabla 44 Factor de modificación del momento crítico	147
Tabla 45 Comparación carga paramentos laterales	197
Tabla 46 Comparación carga de viento sobre cubierta cilíndrica.....	198

Capítulo I: Introducción

1. Objetos y alcance del proyecto
2. Estructura del proyecto

“La ingeniería es el conjunto de conocimientos y técnicas científicas aplicadas, que se dedica a la resolución y optimización de los problemas que afectan directamente a la humanidad.”

“En ella, el conocimiento, manejo y dominio de las matemáticas y física, obtenido mediante estudio, experiencia y práctica, se aplica con juicio para desarrollar formas eficientes de utilizar los materiales y las fuerzas de la naturaleza para beneficio de la humanidad y del ambiente.”

1. Objetivos y alcance del proyecto

El objeto del presente proyecto es el diseño, cálculo y optimización de una estructura metálica retráctil, que realizará la función de cubierta para una piscina.

Por otro, lado se realizará un estudio entre las normativas vigentes en Argelia y en España, de esta forma se podrán analizar las diferencias entre las dos normativas, diferencias geológicas y ambientales entre los dos países y posibles deficiencias en las respectivas normativas.

Los cálculos se han realizado con el código comercial de CYPE Ingenieros.

“La ingeniería es el conjunto de conocimientos y técnicas científicas aplicadas, que se dedica a la resolución y optimización de los problemas que afectan directamente a la humanidad.”

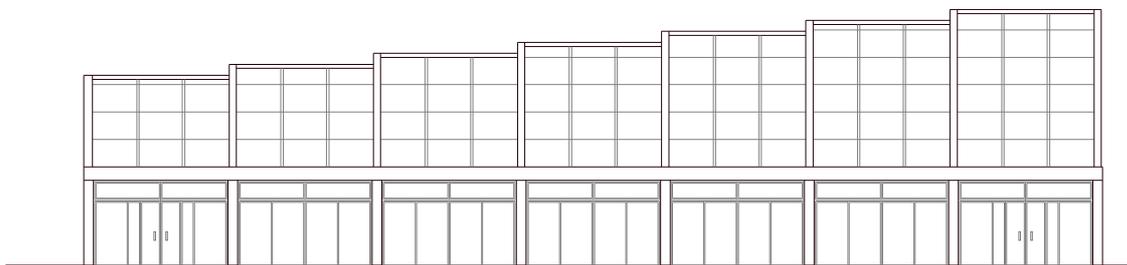
“En ella, el conocimiento, manejo y dominio de las matemáticas y física, obtenido mediante estudio, experiencia y práctica, se aplica con juicio para desarrollar formas eficientes de utilizar los materiales y las fuerzas de la naturaleza para beneficio de la humanidad y del ambiente.”

El motivo de proyectar dicha cubierta es el de alargar la temporada de utilización de la instalación de una piscina. Se trata de una cubierta que abarca toda la instalación de forma que por debajo de ella se puede hacer utilización normal de ellas. En estaciones del año donde la climatología lo permita se abrirá la cubierta para que el calor en su interior no se excesivo. En estaciones más frías se cerrará la cubierta para aprovechar el efecto invernadero que esta produce gracias a sus paneles de (polietileno) y así alcanzar una temperatura en su interior agradable para la utilización de las instalaciones. Si fuera necesario con la cubierta cerrada se puede climatizar tanto el ambiente del interior como el agua de la piscina garantizando un aislamiento del exterior mediante la cubierta.



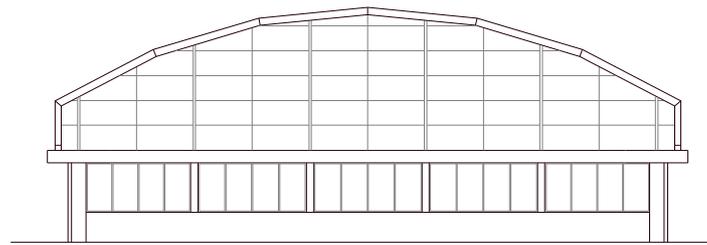
Imagen 1 Interior cubierta

A su vez la cubierta se puede abrir o cerrar si hay previsiones meteorológicas adversas de lluvia o de viento y así poder garantizar en su interior unas condiciones óptimas para la realización de la actividad.

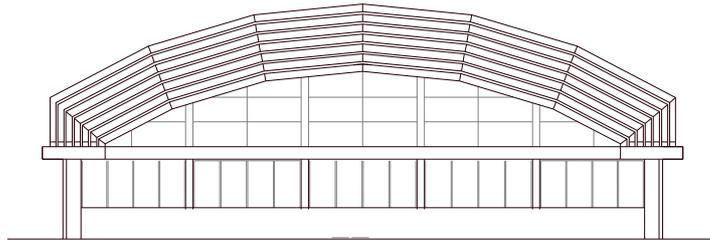


ALZADO ESTE - OESTE

Imagen 2 Alzados Este Oeste



ALZADO SUR



ALZADO NORTE

Imagen 3 Alzados Sur Norte

El alcance del presente proyecto es el cálculo y optimización de la estructura metálica, el diseño del sistema electromecánico de transmisión de los diferentes módulos que completan la estructura y el análisis entre las diferentes normativas. Quedan fuera del alcance de este proyecto el cálculo de la cimentación y el diseño del sistema de automatización de apertura y cerrado.

Para realizar dicha cubierta metálica se estudian los diferentes materiales estructurales y de cobertura que existen en el mercado, con el fin de elegir el más adecuado para su propósito.

2. Estructura del proyecto

El Proyecto se divide en tres volúmenes que a su vez se dividen en capítulos.

Volumen 1	Capítulo	Volumen 2	Anexos	Volumen 3	Capítulo
Memoria	I Introducción	Anexos	I Módulo 1 CTE	Planos	
	II Antecedentes		II Módulo 2 CTE		
	III Bases del proyecto		III Módulo 7 CTE		
	IV Descripción del proyecto		IV Módulo 1 DTR		
	V Elementos estructurales		V Módulo 2 DTR		
	VI Elementos del sistema de transmisión		VI Módulo 7 DTR		
	VII Memoria de cálculo		VII Tirante de refuerzo		
	VIII Resultados		VIII Pilar pórtico 1		
	IX Análisis de legislaciones				
	X Pliego de condiciones				
	XI Mediciones				
	XII Presupuesto				
	XIII Bibliografía				

Capítulo II: Antecedentes

1. Consideraciones previas

1. Consideraciones previas

1.1. Estructura

Una estructura es un conjunto de elementos resistentes unidos entre si que reaccionan bajo los efectos de las cargas a los que son sometidos. Su finalidad es resistir las cargas y transmitir las a los apoyos si sufrir deformaciones permanentes.

Las cargas se pueden clasificar en tres tipos:

- Acciones permanentes (Peso propio).
- Acciones variables (Sobrecarga de uso, acción del viento, acciones térmicas, acciones de nieve).
- Acciones accidentales (acciones de sismo).

La estructura debe de soportar la situación más desfavorable causada por la combinación de las acciones anteriores. Las verificaciones que se establecen son:

- Capacidad portante (estabilidad y resistencia).
- Aptitud al servicio (deformación limitada, vibraciones y deterioro).

1.2. Propiedades del acero estructural

Las ventajas de las construcciones con acero estructural son las siguientes:

- Resistencia estructural: tanto a fuerzas de tracción como a compresión, el acero estructural tiene una alta resistencia. Por otro lado, su reducido peso propio da lugar a diseños con secciones de reducidas dimensiones.

Una de las desventajas es la facilidad de pandeo del acero estructural. Esto provoca la necesidad de añadir a la estructura elementos arriostrantes (tirantes, nudos rígidos...) para conseguir la rigidez deseada.

- Durabilidad: el acero es vulnerable a la corrosión, lo que requiere tratamientos (pinturas anticorrosivas, galvanización...) que protejan las superficies de la corrosión. Aunque

estos tratamientos anticorrosión tienen un coste nada despreciable, el correcto mantenimiento de la estructura puede alargar su vida indefinidamente.

- Resistencia al fuego: el acero es vulnerable a las altas temperaturas lo que disminuye drásticamente las características mecánicas. Este hecho requiere tratamientos como pinturas intumescentes, que aíslan al acero de las altas temperaturas.
- Facilidad de transporte y montaje debido a su ligereza.
- Rápida ejecución de la obra, ya que las piezas se pueden prefabricar en taller.
- Se puede utilizar en obras que requieran grandes luces.

1.3. Características mecánicas del acero

Las características generales para todos los aceros son las siguientes:

- Módulo de elasticidad $E = 210 \text{ GPa}$.
- Módulo de Rigidez $G = 81 \text{ GPa}$.
- Coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$
- Coeficiente de dilatación térmica $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$
- Densidad $\rho = 7.850 \text{ Kg/m}^3$

Los aceros más utilizados son:

- Para construcciones ordinarias (JR): S235JR, S275JR y el 355JR.
- Cuando se requiere gran soldabilidad y resistencia a la rotura frágil (J0): S235J0, S275J0 y 355J0.
- Cuando se requiere exigencias especiales a la resiliencia, soldabilidad o rotura frágil (J2): S235J2, S275J2 y S355J2.

En todos los aceros anteriores las cifras numéricas del código indican el límite elástico: $\sigma = \text{MPa}$.

1.4. Herramienta de cálculo CYPE v.2016

El cálculo, dimensionamiento y optimización de la estructura metálica de la cubierta se realizará con el programa informático CYPE Ingenieros versión 2016, concretamente con la herramienta

CYPE 3D. Se trata de una herramienta muy extendida para el cálculo de cualquier estructura resistente.

En el presente proyecto se realizarán dos cálculos con la herramienta CYPE 3D. Un cálculo de dimensionamiento y optimización de la estructura metálica para la normativa de construcción española y otro para la normativa de construcción argelina, de esta forma se podrán comparar las diferentes normativas.

La estructura a calcular y dimensionar es una estructura singular en cuanto nos referimos al entorno del CYPE, ya que se aproxima a una estructura con cubierta cilíndrica y formado por módulos aislados entre ellos.

Este tipo de cubierta no se encuentra tipificada en la herramienta Generador de Pórticos del programa CYPE. Este hecho origina que la estructura se tenga que definir manualmente y no automáticamente como sería el caso de una nave industrial típica mediante el Generador de Pórticos. Así pues, mediante el Metal 3D, herramienta de CYPE, se introduce la estructura elemento a elemento respetando las dimensiones de los planos de diseño inicial.

Por otro lado, hay que realizar un estudio de las acciones de viento a las que está sometida la estructura, ya que al no ser un diseño tipificado ni en el CTE ni en el CYPE hay que realizar aproximaciones en algunas hipótesis de viento, asemejando por ejemplo las cargas por la acción del viento frontal a una cubierta a dos aguas. Todas las suposiciones están justificadas en los apartados 5.2.2 y 6.2.2 del Capítulo VII.

La anterior cuestión supone que una vez definida en el Metal 3D la estructura, haya que definir todos los paños superficiales donde actuaran las acciones del viento. Así como definir todas las zonas de cubierta con diferentes valores de presión, para las diferentes hipótesis, tanto para la simulación bajo legislación española, como para la simulación bajo legislación argelina. Por lo tanto se realizan dos simulaciones de la estructura.

Finalmente se procederá al diseño de mejoras respecto el diseño inicial de la estructura metálica.

Capítulo III: Bases del proyecto

1. Concionantes del promotor
2. Condicionantes del medio físico
3. Condicionantes legales
4. Norma urbanística
5. Norma de carácter general

1. Condicionantes del promotor.

Los condicionantes impuestos por el promotor para el diseño y la construcción de la cubierta para piscina son los siguientes:

- Dimensiones: Construir una cubierta con dimensiones de base 42 m de longitud por 26 m de anchura.
- Estructura: La estructura de la cubierta descansara sobre correas y pórticos metálicos. La estructura deberá poder abrirse y cerrarse pudiendo cubrir o descubrir la piscina.
- Apertura y cerrado de la cubierta automatizado.
- Cubierta: Como material de cobertura se usará placas de policarbonato.

2. Condiciones legales.

En Argelia la legislación de edificación a seguir es el DTR (Document technique règlementaire). Se utilizará el anexo C 2-4.7. del DTR siendo este el Règlement Neige et Vent (R.N.V. 1999) "Reglamento de Nieve y Viento" para calcular las cargas de viento de la obra. Por otro lado, se utilizará en anexo B.C 2-48 del DTR siendo el Règlement Parasismiques Algériennes (R.P.A. 2003) para calcular las cargas sísmicas.

El diseño y construcción final de la obra se realizará respecto el reglamento argelino ya que la instalación se realizará en Argelia. No obstante, se realizará un estudio entre la legislación española y argelina, comparándose diferentes aspectos de cada legislación.

El código técnico español a seguir es el CTE DB SE (Documento Básico Seguridad estructural), así como el CTE DB SE-A (Documento Básico Seguridad Estructural Acero) y el CTE SB SE-AE (Documento Básico Seguridad Estructural Acciones en la Edificación). En cuestiones sísmicas el documento de seguridad es la Norma de Construcción Sismo resistente: Parte general y edificación (NCSE-02).

3. Normativa de carácter general

3.1. Normativa de construcción vigente en España

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es la norma encargada de establecer las exigencias que deben cumplir la edificación entorno a los requisitos de seguridad y habitabilidad.

En el presente proyecto se deberán de adoptar diferentes exigencias básicas definidas dentro de CTE, esas son:

- DB-SE: Seguridad estructural. En este documento se establecen los principios que aseguran que la obra tiene un comportamiento adecuado frente a las acciones.
- DB-SE-A: Seguridad estructural Acero. En este documento se establecen los principios para comprobar la seguridad estructural de los elementos de la obra formados por acero.
- DB-SE-AE: Seguridad estructural Acciones en la Edificación. En este documento viene detallados el cálculo de las acciones a las cuales una edificación está sometida a lo largo de su periodo de vida útil.

Para el caso de los fenómenos sísmicos se tiene una norma a parte del CTE, esta norma es la NCSE-02, Norma de Construcción Sismo resistente: Parte general y edificación.

3.2. Normativa de construcción vigente en Argelia

El documento DTR (Document technique règlementaire) es el encargado de establecer las exigencias que deben cumplir la edificación entorno a los requisitos de seguridad y habitabilidad.

Del documento DTR se utilizarán lo siguientes anexo:

- Anexo C 2-4.7. en el cual se encuentran definidas las acciones de nieve y viento "Règlement Neige et Vent" R.N.V. 1999.

- Anexo B.C 2-48 en el cual se encuentra la normativa que rige los fenómenos sísmicos
“Règlement Parasismiques Algériennes” R.P.A. 2003.

Capítulo IV: Descripción del proyecto

1. Diseño constructivo
2. Descripción de la cubierta metálica
3. Localización de obra y datos medioambientales
4. Cargas consideradas
5. Bases de cálculo

1. Diseño constructivo

Considerando los distintos criterios de valor: iluminación, aislamiento térmico, coste, tiempo de ejecución y mantenimiento, se considera que una estructura metálica con una cubierta de policarbonato translucido es la mejor solución.

Se decide por una nave con forma poligonal, exactamente 6 lados semejándose la nave a una cubierta cilíndrica ya que esta geometría aumenta el efecto invernadero, favoreciendo un aumento de temperatura en su interior. De esta forma se podrá alargar la temporada de baño durante todo el año.

Por otro lado, la forma cilíndrica de la cubierta se impone por parte del propietario, al tener una mejor estética que na cubierta a dos aguas.

Como la cubierta se debe de poder abrir y cerrar para adaptarse a las condiciones ambientales en las diferentes estaciones del año se construirá una cubierta formada por pórticos móviles. Cada pórtico mide 6 m de largo y 26 m de ancho y mediante unas placas de arrastre y un sistema de piñón cremallera accionado por un motor eléctrico se consigue el desplazamiento de cada uno.

2. Descripción de la cubierta metálica

La cubierta metálica tiene unas dimensiones de 26m de ancho por 42m de longitud, es decir, cubre una superficie de 1092m².

La cubierta metálica tiene la característica de estar construida por módulos capacidad de movimiento.

De esta forma mediante un sistema de electromecánico, la cubierta podrá cubrir o no la superficie sobre la cual está instalada.

La cubierta se instalará sobre un forjado que se realiza previamente en la localización. La proyección del forjado no se define en dicho proyecto, se realiza en otro proyecto diferente a este donde se diseñará.

La estructura metálica estará formada por pórticos rígidos con una distancia de separación de 6m, adoptando una estructura poligonal similar a una cubierta cilíndrica. La cubierta se divide en 7 módulos, cada módulo está formado por dos pórticos rígidos.

Entre módulos, hay una diferencia de 100mm de forma que los módulos pueden recogerse uno debajo del otro, con seguridad de que abran roces entre ellos.

El módulo de menor dimensiones esta empotrado a los cimientos con sus respectivas zapatas de forma que siempre permanece estático. El resto de módulos están montados sobre unos railes mediante los cuales y unos carros especialmente diseñados para montarlos en los extremos de los pórticos, se dota de movimiento a los módulos en la dirección de los railes. Por lo tanto, cada módulo se desplaza por sus dos railes instalados en ambos lados mediante los cuatro carros instalados en los extremos de cada pórtico.

Se instala una cubierta translúcida que deje pasar la luz solar atenuando los destellos, de esta forma dentro de la estructura se acumulara el calor de los rayos de sol y se disfrutara de luz solar.

Una vez instalada la cubierta sobre el forjado, la parte más alta de la cubierta tendrá una altura de 9,44m, correspondiente a la cumbrera del mayor modulo y una altura de 7m en la cumbrera del menor de los módulos.

La inclinación desde la cumbrera, hasta la parte superior de los paramentos verticales es de 15º.

Características geométricas:

- Altura máxima y mínima de cumbrera: [9,44 ; 7]m
- Anchura: 26m.
- Profundidad: 42m.
- Superficie cubierta: 1092m²
- Número de módulos: 7.
- Número de pórticos: 14 (dos por modulo).

- Numero de correas: 26 perfil tubular #160x80x6 separadas entre sí una distancia aproximada de 1m (la distancia exacta se puede consultar en los planos).

3. Localización de obra y datos medioambientales.

País: Argelia.

Provincia: Blida.

Población: Boufarik.

Altitud: 63 m.s.n.m.

La obra se realiza en las instalaciones de la Base Militar Aérea del ejercito de Argelia. Las instalaciones se sitúan en el sud Oeste de la población, a las afueras de Boufarik.

Coordenadas:

Grados Decimales

Latitud: 36,56º

Longitud: 2,90º

Grados Minutos Segundos

Latitud: N 36º 33' 56,28''

Longitud: E 2º 54' 2,378''



Imagen 4 Posición 1 Google maps



Imagen 5 Posición 2 Google maps

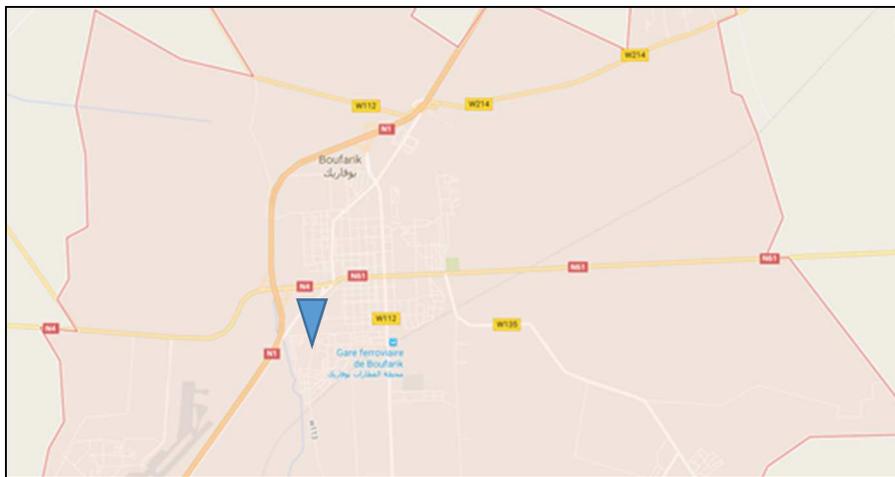


Imagen 6 Posición 3 Google maps



Imagen 7 Posición 4 Google maps



Imagen 8 Posición 5 Google maps

4. Cargas consideradas

Todo edificio o construcción se encuentra sometido a una serie de acciones tal como establece tanto el CTE-DB-SE-AE (legislación argelina) como el DTR C 2-47 (legislación argelina). Cargas como la nieve, arena (caso argelino), viento, acciones sísmicas, el peso propio de la estructura o sobrecarga de uso pueden actuar de forma aislada o conjuntamente.

Acciones permanentes:

- Peso propio de la estructura al completo.

Acciones variables:

- Sobrecargas de uso o de explotación.
- Carga producida por la nieve.
- Carga producida por la acción del viento.
- Acciones térmicas.

Acciones accidentales:

- acciones producidas por acciones sísmicas.

5. Bases de cálculo

Se utilizará un modelo de la estructura metálica para realizar el análisis estructural basado en la verificación de los estados límites últimos y de servicio, mediante coeficientes parciales para la determinación del efecto de las acciones, así como de la respuesta estructural.

Tanto la estructura en su conjunto como todos los elementos que componen la estructura, cumplen los estados límites últimos y los estados límite de servicio, según los cálculos realizados bajo las acciones ponderadas en las combinaciones más desfavorables.

Es de gran importancia la limitación de la flecha para que no exista contacto entre los módulos superpuestos, en el punto 7.2 del Capítulo VII se justifican los valores que toma la flecha.

La estructura se analiza al completo, con todos los módulos, cada módulo está totalmente aislado del resto de módulos adyacentes, de esta forma se analiza la estructura en conjunto frente las acciones del viento.

5.1. Para la estructura se verifica

5.1.1. Capacidad portante

Capacidad portante es la aptitud de una estructura para asegurar durante el periodo de vida útil de 50 años, la estabilidad y resistencia del conjunto.

- Según el punto 4.2 del DTE-DB-SE se considera que hay suficiente estabilidad del conjunto del edificio o de una parte independiente del mismo, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.

$$E_{d, dst} \leq E_{d, stb}$$

siendo:

$E_{d, dst}$ valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras

$E_{d, stb}$ valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras

- Se considera que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural, sección, punto o de una unión entre elementos, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.

$$E_d \leq R_d$$

siendo

E_d valor de cálculo del efecto de las acciones

R_d valor de cálculo de la resistencia correspondiente

5.1.2. Aptitud al servicio

Aptitud al servicio es la capacidad de mantener el aspecto visual y asegurar el funcionamiento de la cubierta durante el periodo de vida útil.

Respecto a los desplazamientos verticales denominado flecha relativa, se considera un valor de $L/300$. Adoptando este valor definido por el CTE y por el DTR, asegura una estructura suficientemente rígida ante cualquier combinación de acciones.

5.1.3. Combinación de acciones

- Valor característico de las acciones permanentes G .
- Valor de la acción permanente de pretensado P .
- Valor característico de las acciones variables Q .
- Valor nominal de las acciones accidentales A .

Tanto para la normativa española CTE como para la normativa argelina DTR la combinación de acciones es la siguiente. La similitud ente normativas se debe a que las dos provienen del Eurocódigo, compartiendo varios aspectos.

- El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

$$\sum_{j>1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{O,i} \cdot Q_{k,i}$$

es decir, considerando la actuación simultánea de:

- a) todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluido el pretensado ($\gamma_P \cdot P$);
- b) una acción variable cualquiera, en valor de cálculo ($\gamma_Q \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- c) el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación ($\gamma_Q \cdot \psi_O \cdot Q_k$).

Los valores de los coeficientes de seguridad, γ , se establecen en la tabla 4.1 para cada tipo de acción, atendiendo para comprobaciones de resistencia a si su efecto es desfavorable o favorable, considerada globalmente.

Para comprobaciones de estabilidad, se diferenciará, aun dentro de la misma acción, la parte favorable (la estabilizadora), de la desfavorable (la desestabilizadora).

Los valores de los coeficientes de simultaneidad, ϕ , se establecen en la tabla 4.2

- El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación extraordinaria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión

$$\sum_{j>1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

es decir, considerando la actuación simultánea de:

- a) todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluido el pretensado ($\gamma_P \cdot P$);
 - b) una acción accidental cualquiera, en valor de cálculo (A_d), debiendo analizarse sucesivamente con cada una de ellas.
 - c) una acción variable, en valor de cálculo frecuente ($\gamma_Q \cdot \phi_1 \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal, una tras otra sucesivamente en distintos análisis con cada acción accidental considerada.
 - d) El resto de las acciones variables, en valor de cálculo casi permanente ($\gamma_Q \cdot \phi_2 \cdot Q_k$).
- En situación extraordinaria, todos los coeficientes de seguridad ($\gamma_G, \gamma_P, \gamma_Q$), son iguales a cero si su efecto es favorable, o a la unidad si es desfavorable, en los términos anteriores.

En los casos en los que la acción accidental sea la acción sísmica, todas las acciones variables concomitantes se tendrán en cuenta con su valor casi permanente, según la expresión:

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + P + A_d + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

Tabla 1Tabla 4.1 coeficientes parciales de seguridad CTE DB SE-AE

En el presente proyecto los valores parciales de seguridad para las acciones serán los siguientes:

- Verificación de resistencia, tipo de acción permanente (peso propio): γ desfavorable 1,35, γ favorable 0,8.
- Verificación de estabilidad, tipo de acción permanente (peso propio): γ desfavorable 1,10, γ favorable 0,9.

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento			
	0,6	0,5	0
Temperatura			
	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno			
	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Tabla 2 Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad CTE DB SE-AE

En el presente proyecto los coeficientes de simultaneidad para las acciones que tienen lugar (sobrecarga de uso, nieve y viento) son las siguientes:

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Viento (Q)	0.000	1.500	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.500	1.000	0.500

Tabla 3 Coeficientes parciales de seguridad y de combinación

Persistente o transitoria (G1)				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Viento (Q)	0.000	1.500	0.000	0.000
Nieve (Q)	0.000	1.500	0.000	0.000

Tabla 4 Coeficientes parciales de seguridad y de combinación

Sísmica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Viento (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Sismo (E)	-1.000	1.000	1.000	0.000

Tabla 5 Coeficientes parciales de seguridad y de combinación

Acciones variables sin sismo		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000

Tabla 6 Coeficientes parciales de seguridad

Sísmica		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000
Viento (Q)		
Nieve (Q)	0.000	1.000
Sismo (E)	-1.000	1.000

Tabla 7 Coeficientes parciales de seguridad

Capítulo V: Elementos estructurales

1. Pilares
2. Vigas pórticos
3. Arriostramientos
4. Medios unión
5. Elementos de la cubierta
6. Cimientos

1. Pilares

Se dispondrá del perfil HEB ya que este tipo de perfil soporta mejor los esfuerzos a compresión. Se instalarán platabandas en sus laterales para aumentar su resistencia además de para facilitar la instalación de los perfiles que componen los paramentos laterales.

El calibre del perfil se obtiene tras la simulación de la estructura metálica en el Metal 3D sometida a todas las acciones definidas.

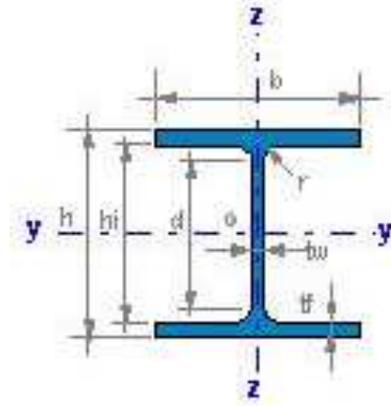


Imagen 8 Perfil genérico HEB

2. Vigas pórticos.

Se utilizará la serie IPE ya que es la serie que ofrece mejor relación entre resistencia mecánicas y peso. De esta forma los perfiles IPE son la mejor opción para salvar la luz de la estructura metálica.

El calibre del perfil se obtiene tras la simulación de la estructura metálica en el Metal 3D sometida a todas las acciones definidas.

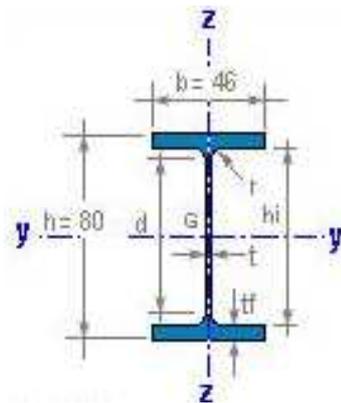


Imagen 9 Perfil genérico IPE

3. Arriostramientos.

3.1. Tirantes

Es necesario la instalación de arriostramiento longitudinal, tanto en cubierta como en los paramentos laterales. El arriostramiento longitudinal es necesario en estructura porticadas para reforzar la estructura, de forma que un empuje de viento frontal no derrumbe la estructura.

Se utilizan barras de acero de diámetro 20mm tanto en cubierta como en paramentos laterales.

Los tirantes se dispondrán en la característica cruz de San Andrés. Los tirantes son piezas biarticuladas sometidas únicamente a tracción montados con sencillo mecanismo que permite tensar dichas barras.

Se dispondrán de dos tipos diferentes de tirantes:

- Tirantes de cubierta. Por cada módulo se instalarán 12 tirantes en cubierta agrupados por parejas y dispuestos en forma de cruz. Estarán dispuestos de sus respectivos elementos de anclaje y tensión en sus extremos.
- Tirantes en paramentos laterales. En los módulos 1, 2, 3 y 4 se instalarán 4 tirantes agrupados por parejas y dispuestos en forma de cruz. Solo se instalarán en dichos pórticos debido a que sus paramentos laterales son de un tamaño considerable y requieren de arriostramiento lateral, para mitigar los esfuerzos al que sus pilares están sometidos con viento frontal. El resto de pórticos no requieren arriostramiento en sus paramentos laterales, ya que son de menor tamaño junto a sus respectivos pilares, soportando por ellos mismos los esfuerzos causados por el viento frontal.

3.2. Bastidores de los tirantes

Hay dos tipos de bastidores. Unos corresponden con las mismas correas de la cubierta que además se su función como correa, realizara de bastidor para los tirantes de cubierta. Los otros corresponden a los perfiles longitudinales de la parte inferior de los paramentos laterales, estos actuaran como soportes para la colocación de la cubierta y junto a la correa de la parte inferior de la cubierta realizaran la función de bastidor de los tirantes laterales.

3.3. Correas

La función de las correas es transmitir las fuerzas de la cubierta a las vigas de los pórticos, además de arriostrar la estructura longitudinalmente.

Las correas están biarticuladas y en el diseño de la estructura se optó por unir los extremos de las correas a la viga IPE en sus laterales. De esta forma las correas son unidas por sus extremos a las vigas, formando parte activa de la estructura metálica y arriostrando los en sentido longitudinal. Esta decisión de unir los extremos de las correas a las vigas en su lateral, se tomó ya que los módulos móviles tienen un ancho de 6m y necesitan arriostramiento extra frente a los vientos frontales.

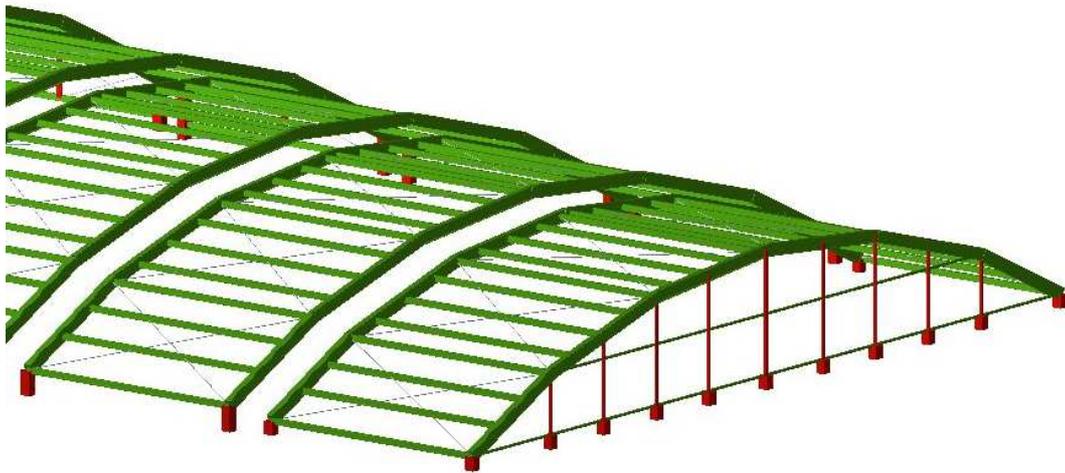


Imagen 9 Detalle posición correas

Las correas estarán formadas por tubos rectangulares # 160x80x6 mm y se unen a las vigas mediante placas de anclaje y pernos de alta resistencia.

3.4. Vista 3D estructura metálica

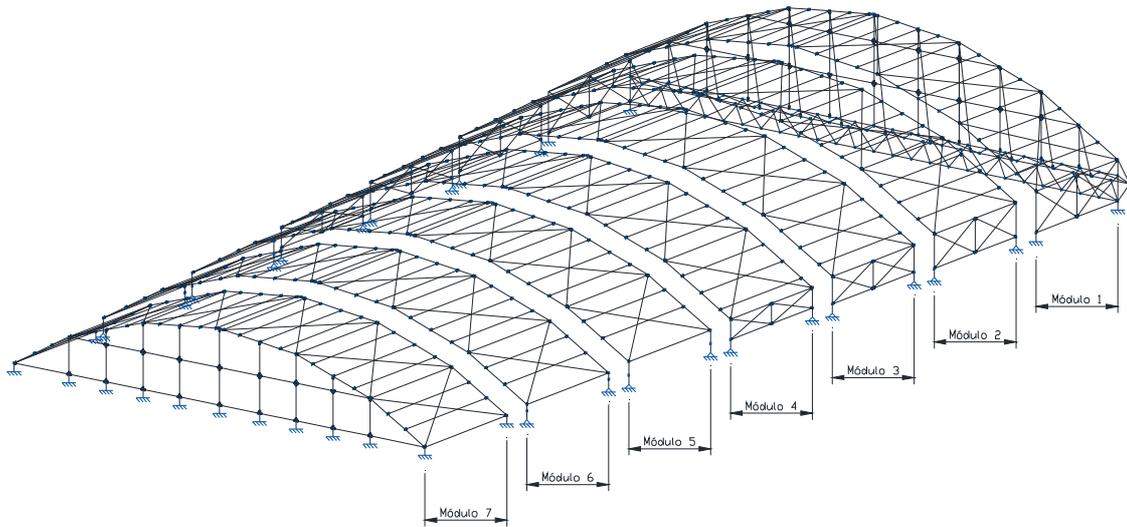


Imagen 10 Estructura 3D módulos

La estructura se divide en módulos como se puede ver en la imagen 9. El módulo de mayor tamaño es el nº1 y el módulo de menor tamaño es el módulo 7. Cada módulo está formado por dos pórticos idénticos siguiendo la siguiente nomenclatura.

Módulos nº	1	2	3	4	5	6	7
Pórticos	1 1	2 2	3 3	4 4	5 5	6 6	7 7

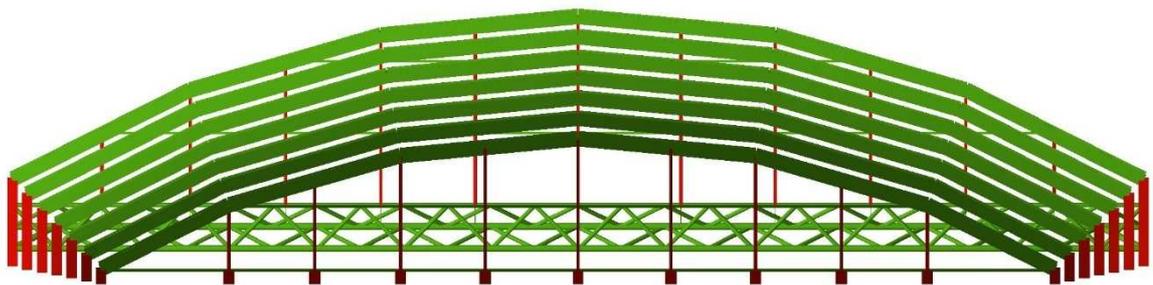


Imagen 11 Vista frontal dela cubierta.

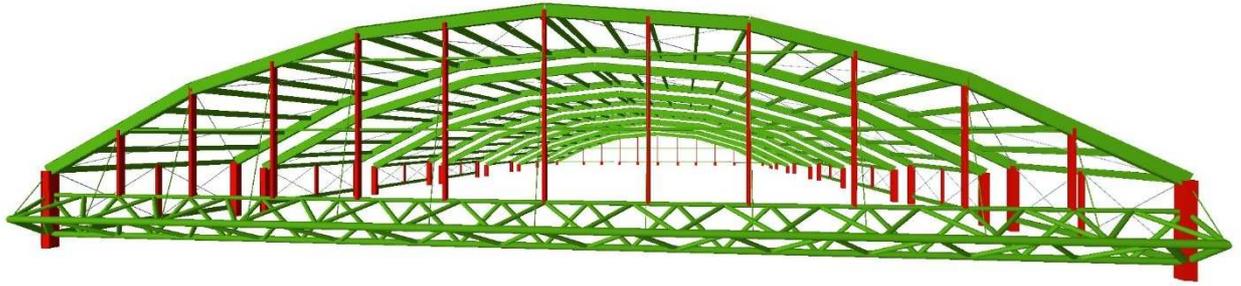


Imagen 12 Vista 3D frontal cónica de la cubierta.

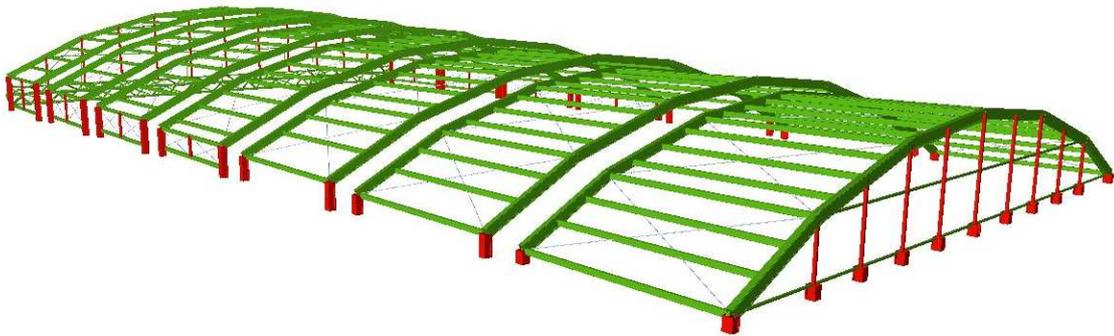


Imagen 13 Vista 3D cónica de la cubierta

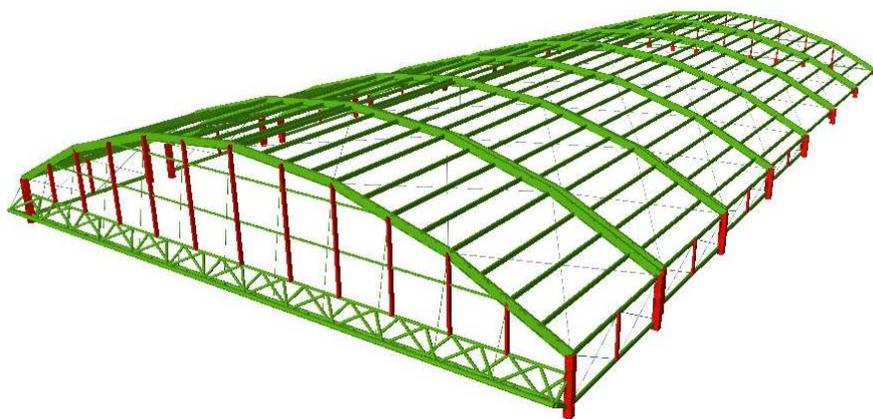


Imagen 14 Vista 3D cónica de la cubierta.

4. Medios de unión

4.1. Uniones atornilladas.

Las uniones atornilladas se realizan bajo la norma española CTE DB SE-A, y bajo la norma Eurocódigo 3 para en el caso de la instalación de la cubierta en Argelia.

Las dos normas son idénticas ya que la norma española esta extraída del Eurocódigo 3. Por otro lado, en Argelia se han adoptado los estándares de los eurocódigos respecto a lo que uniones soldadas se refiere.

Se utilizan pernos de alta resistencia de métrica M16, M18, M22 en las uniones de las siguientes placas:

- Las placas de anclaje nº-4 (unión pórtico carro) se unen mediante pernos M22 a los carros.
- La placa de anclaje nº-5 (unión a perfiles #160x80x6) se une a las placas de anclaje nº-6 y nº-7 (unión correas) mediante pernos M16.
- Las placas nº-3 se unen mediante pernos M18 a sus respectivas parejas de placas nº-3 de los perfiles pareja IPE 300 :1.3, 2.3, 3.3, 4.3, 5.3, 6.3, 7.3.
- Las placas nº-8 (unión tensores) se unen mediante perno M18 a los tensores.

4.2. Uniones soldadas

Las uniones soldadas se realizan bajo la norma española CTE DB SE-A, y bajo la norma Eurocódigo 3 para en el caso de la instalación de la cubierta en Argelia.

Las dos normas son idénticas ya que la norma española esta extraída del Eurocódigo 3. Por otro lado, en Argelia se han adoptado los estándares de los eurocódigos respecto a lo que uniones soldadas se refiere.

Los elementos que se unirán mediante soldadura con una llanta (placa nº-1 IPE-HEB y placa nº-2 IPE-IPE) entre ellos son los siguientes:

- Pilares HEB 240 : módulo 1 y perfiles IPE 300 :1.1, 1.2, 1.3.
- Pilares HEB 240 : módulo 2 y perfiles IPE 300 :2.1, 2.2, 2.3.

- Pilares HEB 240 : módulo 3 y perfiles IPE 300 :3.1, 3.2, 3.3.
- Pilares HEB 240 : módulo 4 y perfiles IPE 300 :4.1, 4.2, 4.3.
- Pilares HEB 240 : módulo 5 y perfiles IPE 300 :5.1, 5.2, 5.3.
- Pilares HEB 240 : módulo 6 y perfiles IPE 300 :6.1, 6.2, 6.3.
- Pilares HEB 240 : módulo 7 y perfiles IPE 300 :7.1, 7.2, 7.3.

Las placas de anclaje nº-4 (unión pórtico carro) se unen mediante soldadura a las bases de los pilares HEB240.

La placa de anclaje nº-5 (unión a perfiles #160x80x6) se une mediante soldadura a los extremos de las correas.

Las placas de anclaje nº-6 y nº-7 (unión correas) se unen mediante soldadura a sus respectivas vigas IPE300.

Las placas nº-3 se unen mediante soldadura al extremo superior de los perfiles IPE 300 :1.3, 2.3, 3.3, 4.3, 5.3, 6.3, 7.3.

Las placas nº-8 (unión tensores) se unen mediante soldadura a sus respectivos bastidores.

Los perfiles que forman los paramentos laterales de los módulos (#160x80x6) se unirán con soldadura entre ellos, a los pilares HEB240.

5. Elementos de la cubierta

5.1. Placas de policarbonato

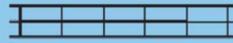
Se instalarán placas de policarbonato translucido haciendo la función de cubierta. Entre placas se dejará una separación de 10mm para evitar daños por contracción térmica y por posibles movimientos a la hora de abrir o cerrar la cubierta.

Características:

- Dimensiones, ancho: 2100 mm, largo: 13500 mm, 12900 mm, 12500 mm.
- Triple pared espesor 16mm

- Peso del Area: 2,7 Kg/m²
- Capa protectora en ambos lados
- Temperatura servicio -50°C a +120°C
- Coef. expansión térmica 0.065 mm/m°C
- Contracción térmica 3 mm/m
- Resistencia al fuego DIN 4102: B-1

Triple Pared



5.2. Juntas

- Se instalarán juntas de neopreno entre las placas de policarbonato y los perfiles de aluminio que rematarán las uniones entre placas
- Por otro lado, se utiliza cinta autoadhesiva de aluminio para sellar los extremos abiertos de las láminas de policarbonato.

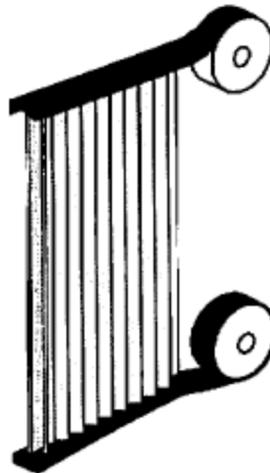


Imagen 15 Detalle cinta aluminio policarbonato

5.3. Perfiles remataria

Se instalan perfiles de aluminio para rematar las juntas de las placas de policarbonato, sellando las juntas, además de sujetar las placas de policarbonato a las correas.



Imagen 16 Remate unión paneles

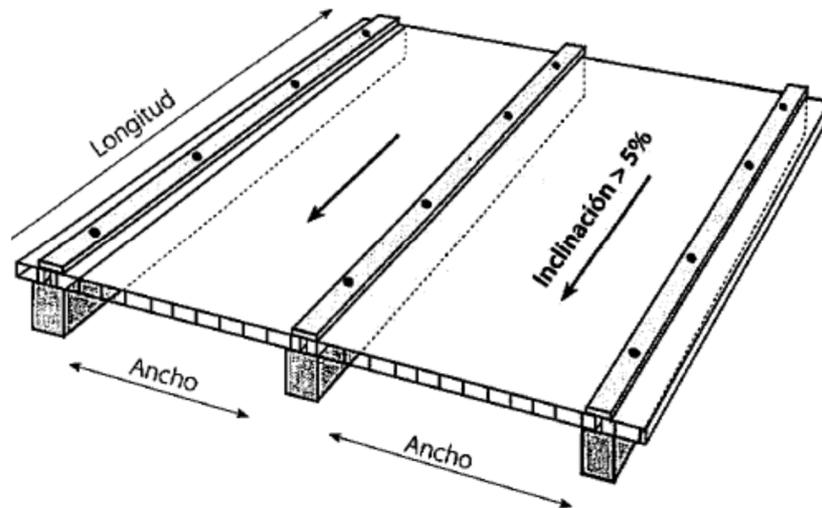


Imagen 17 Remate unión paneles

6. Cimientos

Aunque los cimientos no son competencia del presente proyecto en el siguiente apartado se definirán, ya que es vital que cumplan las exigencias de dimensiones para poder instalar correctamente los raíles por los cuales se moverán los módulos.

En la siguiente imagen se pueden observar cómo quedan dispuestos los cimientos y los raíles sobre los que se sitúan los pórticos

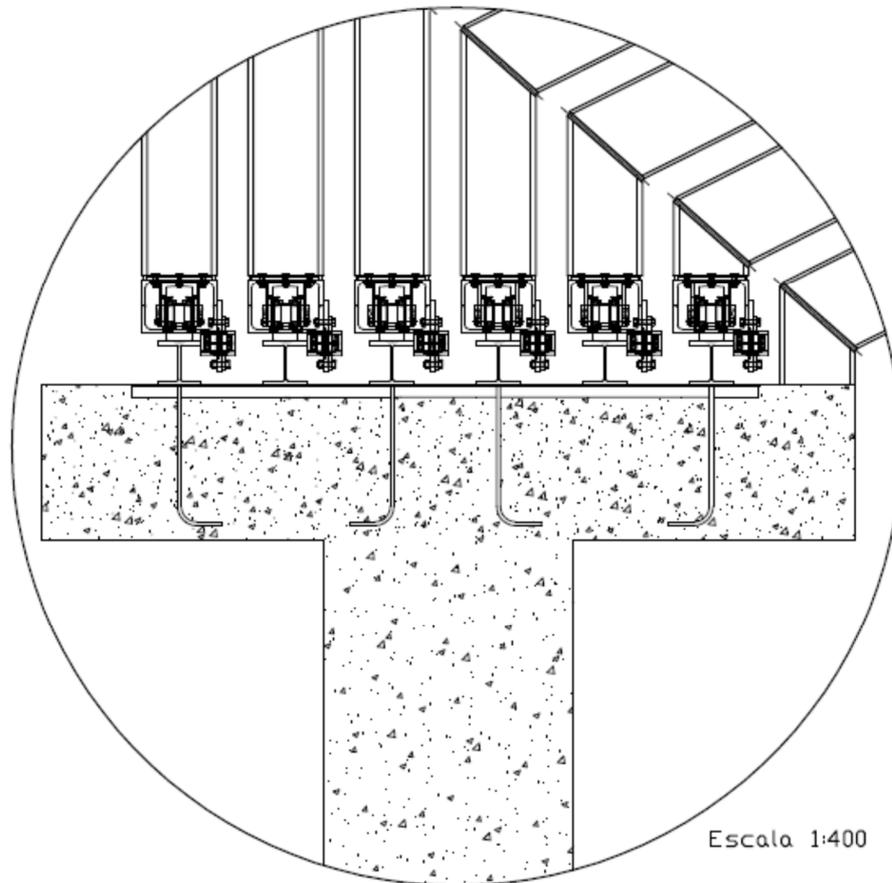


Imagen 18 Detalle railes sobre cimientos. Extracto plano nº-3

Tal y como se observa en la siguiente imagen, toda la estructura metálica es instalada sobre una obra donde se situarán los cimientos con los raíles.

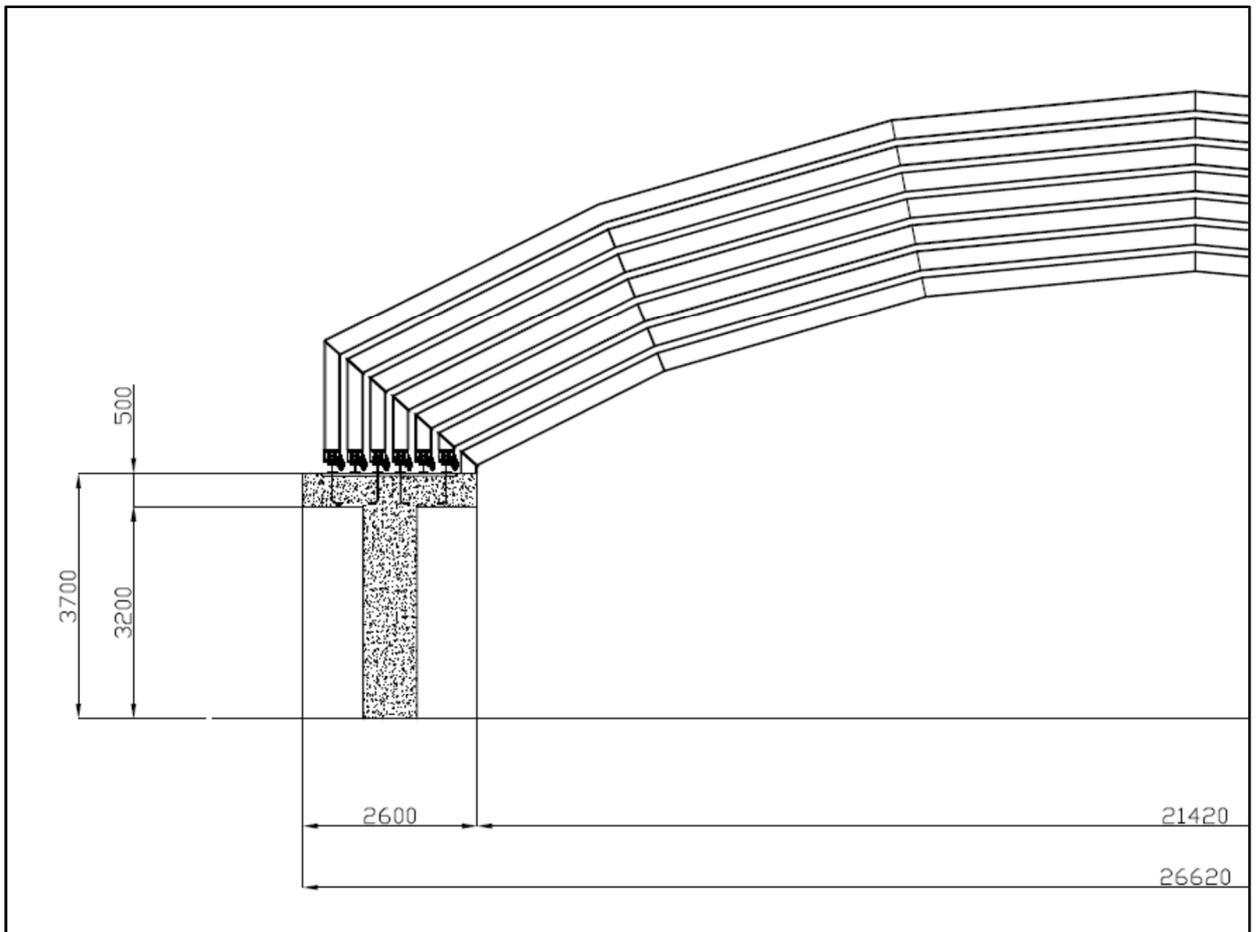


Imagen 19 Cimientos. Extracto plano nº 3

Las cotas que se muestran en los planos de cimientos son invariables y el proyectista que realice el proyecto de cimientos deberá de respetarlas.

Capítulo VI: Elementos del sistema de transmisión

1. Motor
2. Cremallera
3. Engranaje
4. Guías cremallera
5. Railes
6. Carros
7. Placas de arrastre
8. Rodamientos

1. Motor

Se instalarán dos motores eléctricos dotados con reductora, un motor en cada lado del módulo nº-1.

La potencia del motor es la necesaria para arrastrar los 6 pórticos móviles sobre los raíles.

Características del motor:

- Potencia = 2,5 CV; 1,837 kW
- 4 Polos
- 220/380 V
- Frecuencia= 50 Hz

2. Cremallera.

Se instalarán dos cremalleras a lo largo de los raíles exteriores de cada lado de la cubierta.

El rail exterior es el correspondiente al módulo 1, el cual recoge al resto de módulos. Dicha cremallera engrana con el engranaje instalado en el eje del motor de cada lado del módulo 1. Las dos cremalleras se instalan en unos soportes los cuales las posicionan correctamente.

3. Engranaje

En cada motor se instalarán dos engranajes para que se engranen con la cremallera.

El sistema engranaje cremallera transforma el movimiento circular y el par rotor del motor en un movimiento lineal y fuerza lineal que desparará el módulo 1 linealmente en los dos sentidos.

Características:

- acero al carbono
- tratamiento térmico
- 12 dientes
- dentado recto.

4. Guías cremallera.

Las guías cremallera son las encargadas de posicionar correctamente la cremallera y evitar el pandeo de la misma cuando el engranaje solidario con el motor transmita el par.

La sujeción de las guías cremalleras será mediante unión soldada a rail del módulo 1.

Se instalarán a distancias definidas en los planos.

5. Raíles.

Los raíles, perfiles IPN 140, son los encargados de guiar los módulos en el movimiento lineal de los módulos.

Se instalarán 6 raíles correspondiente a los 6 módulos dotados de movimiento.

La superficie superior de los raíles y el canto interior del ala superior del rail son las bandas de rodadura de las ruedas.

La sujeción de los raíles al forjado de hormigón se realizará mediante perfiles UPN 80 soldados a barras corrugadas verticales de 10mm de diámetro embebidos en cemento del forjado.

6. Carros.

Los carros son los encargados de dotar de movimiento lineal a los módulos. En su interior se instalarán las ruedas que apoyan sobre las guías.

Los carros se instalan en los extremos de los pórticos, mediante una placa de anclaje y pernos. Cada módulo constara de 4 carros.

Cada carro está dotado de tres ruedas fabricadas en acero al carbono y tratadas térmicamente y de seis rodamientos cónicos FAG 32210.

7. Placas de arrastre.

Las placas de anclaje son las encargadas de transmitir el movimiento de arrastre del módulo 1 a los siguientes módulos.

Únicamente el módulo 1 está dotado de tracción así que mediante este sistema de placas de arrastre se consigue mover el resto de módulos y recogerlos dentro del módulo 1.

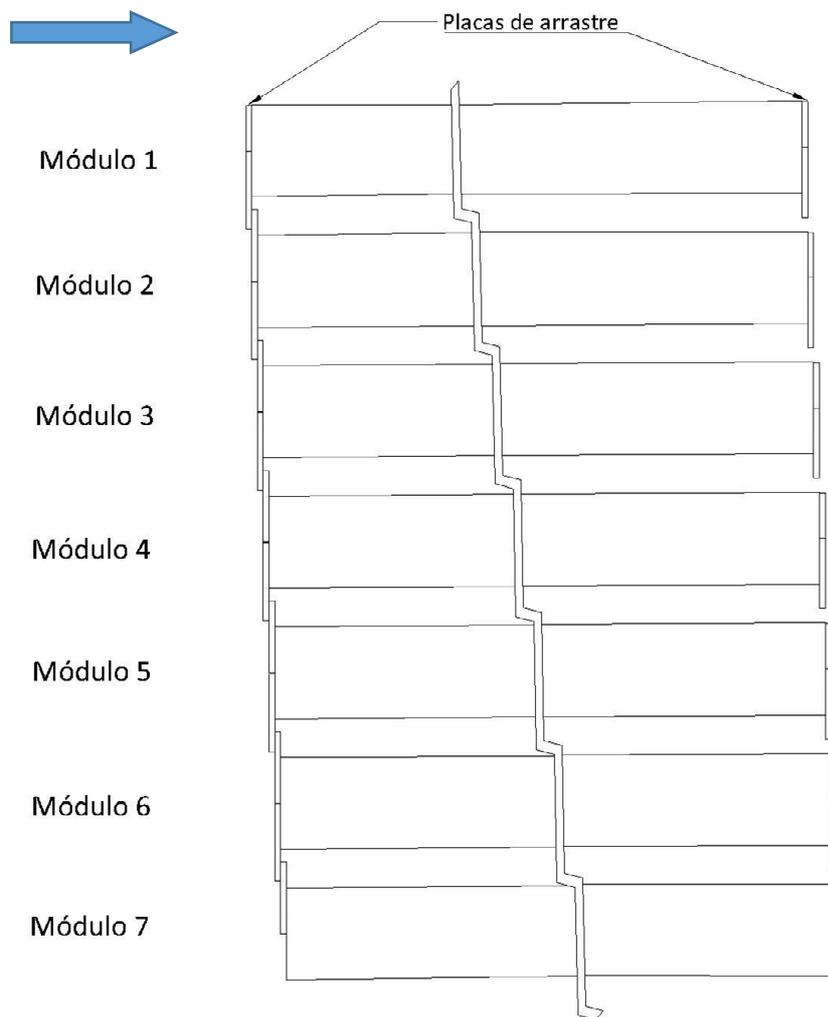


Imagen 20 Detalle módulos recogidos

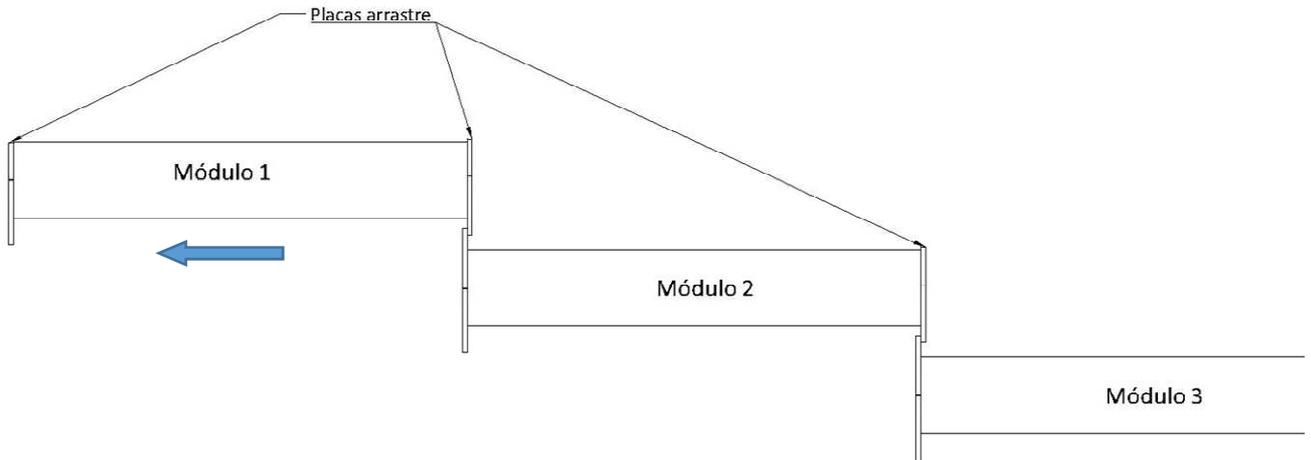


Imagen 21 Detalle módulos cubriendo piscina

Otra funcionalidad muy importante de las placas de anclaje es evitar que los módulos descarrilen por la acción de succión del viento exterior o de la presión del viento interior.

8. Rodamientos.

Rodamientos de rodillos cónicos 32210-A (Serie 322), medidas principales según DIN ISO 355 / DIN 720.

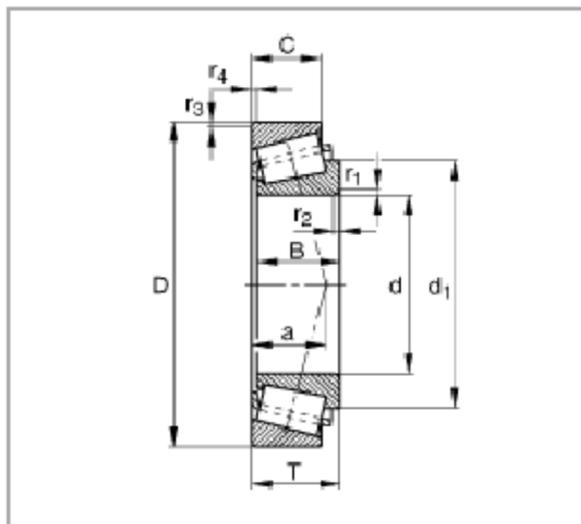


Imagen 22 Rodamiento FAG 32210

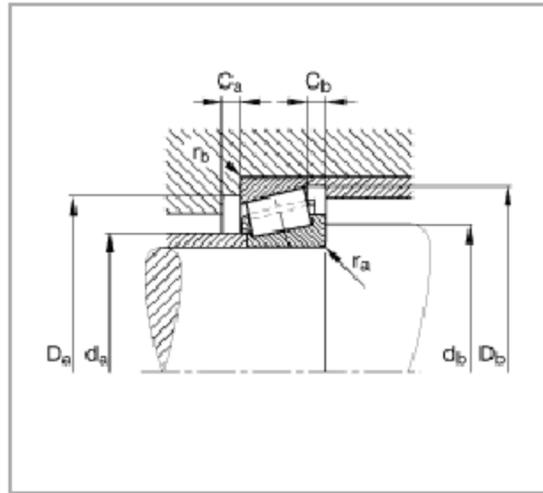


Imagen 23 Rodamiento FAG 32210

d	50 mm	D_{a min}	78 mm
D	90 mm	D_{b min}	85 mm
T	24,75 mm	d₁	70 mm
a	21 mm	d_{a max}	58 mm
B	23 mm	d_{b min}	57 mm
C	19 mm	r_{1,2 min}	1,5 mm
C_{a min}	3 mm	r_{3,4 min}	1,5 mm
C_{b min}	5,5 mm	r_{a max}	1,5 mm
D_{a max}	83 mm	r_{b max}	1,5 mm

C_r	88000 N	Capacidad de carga dinámica, radial
C_{0r}	109000 N	Capacidad de carga estática, radial
e	0,42	
Y	1,43	
Y₀	0,79	
C_{ur}	13200 N	Carga límite de fatiga, radial
n_G	8000 1/min	Velocidad límite
n_B	4500 1/min	Velocidad de referencia
	T3DC050	Designación comparativa según DIN ISO 355
m	0,694 kg	≈ Peso

Capítulo VII: Memoria de cálculo

1. Datos de localización.
2. Características generales.
3. Hipótesis.
4. Combinación de acciones.
5. Cargas aplicadas sobre la estructura (legislación española).
6. Cargas aplicadas sobre la estructura (legislación argelina).
7. Calculo de la estructura metálica.

1. Datos de la localización.

Población: Boufarik (63msnm).

Provincia: Blida → ZONA1: $V_{ref} = 25\text{m/s}$

2. Características generales.

Este proyecto describe una estructura porticada de cubierta cilíndrica formada por 7 pórticos auto portantes independientes. Los diferentes pórticos se pueden deslizar a lo largo para situarse uno encima del otro replegando la cubierta.

3. Hipótesis.

3.1. Hipótesis de viento

Las hipótesis de viento a las que estará sometida la estructura son las siguientes.

Cubierta cerrada							
Viento 0º		Viento 90º		Viento 180 º		Viento 270º	
Cpi presión	Cpi succión	Cpi presión	Cpi succión	Cpi presión	Cpi succión	Cpi presión	Cpi succión
V(0º) P	V(0º) S	V(90º) P	V(90º) S	V(180º) P	V(180º) S	V(270º) P	V(270º) S

Imagen 24 Hipótesis de viento cubierta cerrada

Cubierta abierta					
Viento descendente			Viento ascendente		
Derecha (180º)	Izquierda (0º)	Frontal (90º) i (270º)	Derecha (180º)	Izquierda (0º)	Frontal (90º) i (270º)
V M1	V M2	V M3	V M4	V M5	V M6

Imagen 25 Hipótesis de viento cubierta abierta

Dependiendo de cada normativa, los casos de cubierta cerrada y cubierta abierta se rigen por diferentes criterios, detallados más adelante. En todo caso, para las hipótesis de cubierta abierta el coeficiente de presión se calculará como si se tratara de una marquesina. Para las hipótesis de cubierta cerrada se deberán de realizar varias suposiciones ya que el caso de una cubierta poligonal de 6 lados no está normalizado en los códigos técnicos.

Se definen cuatro vientos según la dirección que lleven: viento lateral 0° (viento procedente del lado izquierdo), viento lateral 180° (viento procedente del lado derecho), viento frontal 90° (viento procedente de la parte posterior) y viento frontal 270° (viento procedente de la parte anterior).

Para cada dirección de viento en el caso de cubierta cerrada se debe de suponer un coeficiente de presión interior a succión o a presión, ya que aunque la cubierta este totalmente cerrada por debajo de ella pueden existir puertas y ventanas que provoquen presión o succión interior.

3.2. Hipótesis al completo

HIPOTESIS	DESCRIPCIÓN
PP	Peso propio
Cubierta	Policarbonato y accesorios montaje
V(0°) H.1.1. P	C. cerrada, V. lateral, presión interior
V(0°) H.1.1. S	C. cerrada, V. lateral, succión interior
V(90°) H.1.2. P	C. cerrada, V. frontal, presión interior
V(90°) H.1.2. S	C. cerrada, V. frontal, succión interior
V(180°) H.1.1. P	C. cerrada, V. lateral, presión interior
V(180°) H.1.1. S	C. cerrada, V. lateral, succión interior
V(270°) H.1.2. P	C. cerrada, V. frontal, presión interior
V(270°) H.1.2. S	C. cerrada, V. frontal, succión interior
V M1 (180°)	Marquesina V.descendente derecha
V M2 (0°)	Marquesina V.descendente izquierda
V M3 (90° 270°)	Marquesina V.descendente frontal
V M4 (180°)	Marquesina V.ascendente derecha
V M6 (90° 270°)	Marquesina V.ascendente frontal
V M5 (0°)	Marquesina V.ascendente izquierda
Nieve 1	q1 , constate a lo largo de la cubierta
Nieve 2	q2, variable a lo largo de la cubierta
Nieve 3	q3, variable a lo largo de la cubierta
SX	Sismo X
SY	Sismo Y

4. Combinación de acciones

Una vez definidas todas las cargas de las diferentes acciones permanentes, variables y accidentales se combinarán las acciones entre sí de forma que se obtendrá la combinación de acciones más desfavorables para la estructura.

La siguiente tabla muestra las distintas combinaciones de las acciones, haciendo uso del algebra Booleana.

Peso Propio	Sobrecarga de Uso	Nieve	Viento	Explicación	Combinación
1	0	0	1	P.P + Viento	1
1	0	1	0	P.P + Nieve	2
1	0	1	1	P.P + Nieve + Viento	3
1	1	0	0	P.P + S.U	4
1	1	0	1	P.P + S.U + Viento	5
1	1	1	0	P.P + S.U + Nieve	6
1	1	1	1	P.P + S.U + Nieve + Viento	7

Tabla 9 Combinaciones acciones

Las combinaciones 5, 6 y 7 son prescindibles, ya que al tratarse de una cubierta solamente accesible para mantenimiento (categoría G1), la acción de sobrecarga de uso no es concomitante con el resto de variables. Ya que no resulta lógico realizar operaciones de mantenimiento en la cubierta cuando sopla fuerte viento o nieva copiosamente.

Mediante a la herramienta de calculo que se utiliza (CYPE), el estudio de todas las hipótesis de carga con sus respectivos coeficientes parciales de seguridad y coeficientes de simultaneidad definidos en el punto 4.4.2 se realizara automáticamente cuando se dimensiones el pórtico.

La siguiente tabla muestra la combinatoria de acciones.

Com b.	PP	Cubierta	V(0°) H.1.1. P	V(0°) H.1.1. S	V(90°) H.1.2. P	V(90°) H.1.2. S	V(180°) H.1.1. P	V(180°) H.1.1. S	V(270°) H.1.2. P	V(270°) H.1.2. S	V M1 (180°)	V M2 (0°)	V M3 (90° 270°)	V M4 (180°)	V M6 (90° 270°)	V M5 (0°)	Nieve 1	SX	SY
1	0.800	0.800																	
2	1.350	0.800																	
3	0.800	1.350																	
4	1.350	1.350																	
5	0.800	0.800	1.500																
6	1.350	0.800	1.500																
7	0.800	1.350	1.500																
8	1.350	1.350	1.500																
9	0.800	0.800		1.500															
10	1.350	0.800		1.500															
11	0.800	1.350		1.500															
12	1.350	1.350		1.500															
13	0.800	0.800			1.500														
14	1.350	0.800			1.500														
15	0.800	1.350			1.500														
16	1.350	1.350			1.500														
17	0.800	0.800				1.500													
18	1.350	0.800				1.500													
19	0.800	1.350				1.500													
20	1.350	1.350				1.500													
21	0.800	0.800					1.500												
22	1.350	0.800					1.500												

Com b.	PP	Cubierta	V(0°) H.1.1. P	V(0°) H.1.1. S	V(90°) H.1.2. P	V(90°) H.1.2. S	V(180°) H.1.1. P	V(180°) H.1.1. S	V(270°) H.1.2. P	V(270°) H.1.2. S	V M1 (180°)	V M2 (0°)	V M3 (90° 270°)	V M4 (180°)	V M6 (90° 270°)	V M5 (0°)	Nieve 1	SX	SY
23	0.800	1.350					1.500												
24	1.350	1.350					1.500												
25	0.800	0.800						1.500											
26	1.350	0.800						1.500											
27	0.800	1.350						1.500											
28	1.350	1.350						1.500											
29	0.800	0.800							1.500										
30	1.350	0.800							1.500										
31	0.800	1.350							1.500										
32	1.350	1.350							1.500										
33	0.800	0.800								1.500									
34	1.350	0.800								1.500									
35	0.800	1.350								1.500									
36	1.350	1.350								1.500									
37	0.800	0.800									1.500								
38	1.350	0.800									1.500								
39	0.800	1.350									1.500								
40	1.350	1.350									1.500								
41	0.800	0.800										1.500							
42	1.350	0.800										1.500							
43	0.800	1.350										1.500							
44	1.350	1.350										1.500							

Com b.	PP	Cubierta	V(0°) H.1.1. P	V(0°) H.1.1. S	V(90°) H.1.2. P	V(90°) H.1.2. S	V(180°) H.1.1. P	V(180°) H.1.1. S	V(270°) H.1.2. P	V(270°) H.1.2. S	V M1 (180°)	V M2 (0°)	V M3 (90° 270°)	V M4 (180°)	V M6 (90° 270°)	V M5 (0°)	Nieve 1	SX	SY
45	0.800	0.800											1.500						
46	1.350	0.800											1.500						
47	0.800	1.350											1.500						
48	1.350	1.350											1.500						
49	0.800	0.800												1.500					
50	1.350	0.800												1.500					
51	0.800	1.350												1.500					
52	1.350	1.350												1.500					
53	0.800	0.800													1.500				
54	1.350	0.800													1.500				
55	0.800	1.350													1.500				
56	1.350	1.350													1.500				
57	0.800	0.800														1.500			
58	1.350	0.800														1.500			
59	0.800	1.350														1.500			
60	1.350	1.350														1.500			
61	0.800	0.800															1.500		
62	1.350	0.800															1.500		
63	0.800	1.350															1.500		
64	1.350	1.350															1.500		
65	0.800	0.800	0.900														1.500		
66	1.350	0.800	0.900														1.500		

Com b.	pp	Cubierta	V(0°) H.1.1. P	V(0°) H.1.1. S	V(90°) H.1.2. P	V(90°) H.1.2. S	V(180°) H.1.1. P	V(180°) H.1.1. S	V(270°) H.1.2. P	V(270°) H.1.2. S	V M1 (180°)	V M2 (0°)	V M3 (90° 270°)	V M4 (180°)	V M6 (90° 270°)	V M5 (0°)	Nieve 1	SX	SY
67	0.800	1.350	0.900														1.500		
68	1.350	1.350	0.900														1.500		
69	0.800	0.800		0.900													1.500		
70	1.350	0.800		0.900													1.500		
71	0.800	1.350		0.900													1.500		
72	1.350	1.350		0.900													1.500		
73	0.800	0.800			0.900												1.500		
74	1.350	0.800			0.900												1.500		
75	0.800	1.350			0.900												1.500		
76	1.350	1.350			0.900												1.500		
77	0.800	0.800				0.900											1.500		
78	1.350	0.800				0.900											1.500		
79	0.800	1.350				0.900											1.500		
80	1.350	1.350				0.900											1.500		
81	0.800	0.800					0.900										1.500		
82	1.350	0.800					0.900										1.500		
83	0.800	1.350					0.900										1.500		
84	1.350	1.350					0.900										1.500		
85	0.800	0.800						0.900									1.500		
86	1.350	0.800						0.900									1.500		
87	0.800	1.350						0.900									1.500		
88	1.350	1.350						0.900									1.500		

Com b.	PP	Cubierta	V(0°) H.1.1. P	V(0°) H.1.1. S	V(90°) H.1.2. P	V(90°) H.1.2. S	V(180°) H.1.1. P	V(180°) H.1.1. S	V(270°) H.1.2. P	V(270°) H.1.2. S	V M1 (180°)	V M2 (0°)	V M3 (90° 270°)	V M4 (180°)	V M6 (90° 270°)	V M5 (0°)	Nieve 1	SX	SY
89	0.800	0.800							0.900								1.500		
90	1.350	0.800							0.900								1.500		
91	0.800	1.350							0.900								1.500		
92	1.350	1.350							0.900								1.500		
93	0.800	0.800								0.900							1.500		
94	1.350	0.800								0.900							1.500		
95	0.800	1.350								0.900							1.500		
96	1.350	1.350								0.900							1.500		
97	0.800	0.800									0.900						1.500		
98	1.350	0.800									0.900						1.500		
99	0.800	1.350									0.900						1.500		
100	1.350	1.350									0.900						1.500		
101	0.800	0.800										0.900					1.500		
102	1.350	0.800										0.900					1.500		
103	0.800	1.350										0.900					1.500		
104	1.350	1.350										0.900					1.500		
105	0.800	0.800											0.900				1.500		
106	1.350	0.800											0.900				1.500		
107	0.800	1.350											0.900				1.500		
108	1.350	1.350											0.900				1.500		
109	0.800	0.800												0.900			1.500		
110	1.350	0.800												0.900			1.500		

Com b.	pp	Cubierta	V(0°) H.1.1. P	V(0°) H.1.1. S	V(90°) H.1.2. P	V(90°) H.1.2. S	V(180°) H.1.1. P	V(180°) H.1.1. S	V(270°) H.1.2. P	V(270°) H.1.2. S	V M1 (180°)	V M2 (0°)	V M3 (90° 270°)	V M4 (180°)	V M6 (90° 270°)	V M5 (0°)	Nieve 1	SX	SY
111	0.800	1.350												0.900			1.500		
112	1.350	1.350												0.900			1.500		
113	0.800	0.800													0.900		1.500		
114	1.350	0.800													0.900		1.500		
115	0.800	1.350													0.900		1.500		
116	1.350	1.350													0.900		1.500		
117	0.800	0.800														0.900	1.500		
118	1.350	0.800														0.900	1.500		
119	0.800	1.350														0.900	1.500		
120	1.350	1.350														0.900	1.500		
121	0.800	0.800	1.500														0.750		
122	1.350	0.800	1.500														0.750		
123	0.800	1.350	1.500														0.750		
124	1.350	1.350	1.500														0.750		
125	0.800	0.800		1.500													0.750		
126	1.350	0.800		1.500													0.750		
127	0.800	1.350		1.500													0.750		
128	1.350	1.350		1.500													0.750		
129	0.800	0.800			1.500												0.750		
130	1.350	0.800			1.500												0.750		
131	0.800	1.350			1.500												0.750		
132	1.350	1.350			1.500												0.750		

Com b.	pp	Cubierta	V(0°) H.1.1. P	V(0°) H.1.1. S	V(90°) H.1.2. P	V(90°) H.1.2. S	V(180°) H.1.1. P	V(180°) H.1.1. S	V(270°) H.1.2. P	V(270°) H.1.2. S	V M1 (180°)	V M2 (0°)	V M3 (90° 270°)	V M4 (180°)	V M6 (90° 270°)	V M5 (0°)	Nieve 1	SX	SY
133	0.800	0.800				1.500											0.750		
134	1.350	0.800				1.500											0.750		
135	0.800	1.350				1.500											0.750		
136	1.350	1.350				1.500											0.750		
137	0.800	0.800					1.500										0.750		
138	1.350	0.800					1.500										0.750		
139	0.800	1.350					1.500										0.750		
140	1.350	1.350					1.500										0.750		
141	0.800	0.800						1.500									0.750		
142	1.350	0.800						1.500									0.750		
143	0.800	1.350						1.500									0.750		
144	1.350	1.350						1.500									0.750		
145	0.800	0.800							1.500								0.750		
146	1.350	0.800							1.500								0.750		
147	0.800	1.350							1.500								0.750		
148	1.350	1.350							1.500								0.750		
149	0.800	0.800								1.500							0.750		
150	1.350	0.800								1.500							0.750		
151	0.800	1.350								1.500							0.750		
152	1.350	1.350								1.500							0.750		
153	0.800	0.800									1.500						0.750		
154	1.350	0.800									1.500						0.750		

Com b.	pp	Cubierta	V(0°) H.1.1. P	V(0°) H.1.1. S	V(90°) H.1.2. P	V(90°) H.1.2. S	V(180°) H.1.1. P	V(180°) H.1.1. S	V(270°) H.1.2. P	V(270°) H.1.2. S	V M1 (180°)	V M2 (0°)	V M3 (90° 270°)	V M4 (180°)	V M6 (90° 270°)	V M5 (0°)	Nieve 1	SX	SY
155	0.800	1.350									1.500						0.750		
156	1.350	1.350									1.500						0.750		
157	0.800	0.800										1.500					0.750		
158	1.350	0.800										1.500					0.750		
159	0.800	1.350										1.500					0.750		
160	1.350	1.350										1.500					0.750		
161	0.800	0.800											1.500				0.750		
162	1.350	0.800											1.500				0.750		
163	0.800	1.350											1.500				0.750		
164	1.350	1.350											1.500				0.750		
165	0.800	0.800												1.500			0.750		
166	1.350	0.800												1.500			0.750		
167	0.800	1.350												1.500			0.750		
168	1.350	1.350												1.500			0.750		
169	0.800	0.800													1.500		0.750		
170	1.350	0.800													1.500		0.750		
171	0.800	1.350													1.500		0.750		
172	1.350	1.350													1.500		0.750		
173	0.800	0.800														1.500	0.750		
174	1.350	0.800														1.500	0.750		
175	0.800	1.350														1.500	0.750		
176	1.350	1.350														1.500	0.750		

Cálculo de cubierta metálica retráctil y comparativa entre normativas.

Memoria

Capítulo VII: Memoria de cálculo.

Com b.	pp	Cubierta	V(0°) H.1.1. P	V(0°) H.1.1. S	V(90°) H.1.2. P	V(90°) H.1.2. S	V(180°) H.1.1. P	V(180°) H.1.1. S	V(270°) H.1.2. P	V(270°) H.1.2. S	V M1 (180°)	V M2 (0°)	V M3 (90° 270°)	V M4 (180°)	V M6 (90° 270°)	V M5 (0°)	Nieve 1	SX	SY
177	1.000	1.000																-1.000	
178	1.000	1.000																1.000	
179	1.000	1.000																	-1.000
180	1.000	1.000																	1.000

Tabla 10 Combinatoria accion

En total se tienen 180 posibles combinatorias de cálculo, para encontrar entre ellas la más desfavorable para la integridad de la estructura metálica.

El programa CYPE realiza automáticamente las diferentes combinatorias realizando el cálculo de la estructura para la más desfavorable. De esta forma cuando la estructura se dimensiona, se obtendrán los valores críticos que soportara la estructura.

5. Cargas aplicadas sobre la estructura (legislación española)

CTE.

El ministerio de fomento español ha desarrollado el CTE-DB-SE-AE como herramienta y norma a cumplir para el cálculo de las acciones sobre la estructura.

Como ya se comentó anteriormente los programas informáticos que se van a utilizar para dimensionar la estructura no incluyen la estructura que se está estudiando, ya que no se trata de una estructura tipo. Así que se van a calcular las cargas de viento siguiendo este reglamento para posteriormente introducirlas en el programa informático.

5.1. Acciones permanentes.

5.1.1. Peso propio.

El valor característico del peso propio de los elementos constructivos, se determinará, en general, como su valor medio obtenido a partir de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios. En el Anejo C del CTE-DB-SE-AE se incluyen los pesos de materiales, productos y elementos constructivos típicos.

Anejo C. Prontuario de pesos y coeficientes de rozamiento interno

Tabla C.1 Peso específico aparente de materiales de construcción

- ESTRUCTURA METALICA

La estructura metálica está formada por diferentes perfiles ya sean lo pilares HBE, vigas IPE, tirantes sección circular o correas con perfil rectangular, todas ellas están conformadas por acero laminado S235JR con un **peso propio** de 76,93 KN/m³.

MATERIAL: Acero laminado s235JR, 76.93 KN/m³.

- CUBIERTA

La cubierta esta forma por paneles de policarbonato celular translucido.

Ficha técnica facilitada por el fabricante.

Carga distribuida: 0,027 KN/m².

5.2. Acciones variables.

5.2.1. Sobrecarga de uso.

Por lo general, los efectos de la sobrecarga de uso pueden simularse por la aplicación de una carga distribuida uniformemente. De acuerdo con el uso que sea fundamental en cada zona del mismo, como valores característicos se adoptarán los de la Tabla 3.1. Dichos valores incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, personas, mobiliario, enseres, mercancías habituales, contenido de los conductos, maquinaria y en su caso vehículos, así como las derivadas de la utilización poco habitual, como acumulación de personas, o de mobiliario con ocasión de un traslado.

Se adoptaran los valores característicos de la siguiente tabla obtenía del CTE-DB-SE-AE, en relación al uso para el que este destinado la cubierta de la estructura metálica.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación	G1	Cubierta con inclinación inferior a 20º	1	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado)	0,4	1
		G2	Cubierta con inclinación superior a 40º	0	2

Tabla 11 Valores característicos de las sobrecargas de uso Tabla 3.1. CTE DB SE-AE

El valor indicado se refiere a la proyección horizontal de la superficie de la cubierta. El valor de sobrecarga será de 0,4 kN/m², ya que la cubierta está clasificada como cubierta ligera y por otro lado, la cubierta de policarbonato celular se instala sobre correas.

Se entiende por cubierta ligera aquella cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no excede de 1 kN/m².

En el caso de la cubierta de policarbonato celular a instalar el valor de la carga es menor a 1kN/m² ya que el policarbonato celular tiene una carga uniforme de 0,027kN/m²

A los efectos de combinación de acciones, las sobrecargas de cada tipo de uso tendrán la consideración de acciones diferentes. Los ítems dentro de cada subcategoría de la tabla 3.1 son tipos distintos.

5.2.2. Acciones del viento

La acción del viento es una fuerza perpendicular a la superficie de los puntos expuestos de la cubierta.

El valor de la presión que ejerce el viento sobre una superficie depende de la forma y dimensiones de la misma, así como de la dirección e intensidad del viento.

La siguiente tabla muestra las diferentes hipótesis de viento. Estas se han obtenido combinando las direcciones con las que el viento ataca a la estructura juntamente con la posibilidad de la existencia presión o succión en el interior de la estructura.

Por otro lado, al tratarse de una cubierta móvil, se condicionarán las diferentes posiciones que puede adoptar la estructura.

Cubierta cerrada, Huecos < 30%							
Cubierta cerrada, un módulo abierto o dos módulos abiertos. Las tres situaciones incluyen la posibilidad de puertas o ventanas abiertas.							
Viento 0º		Viento 90º		Viento 180 º		Viento 270º	
Cpi presión	Cpi succión	Cpi presión	Cpi succión	Cpi presión	Cpi succión	Cpi presión	Cpi succión
V(0º) P	V(0º) S	V(90º) P	V(90º) S	V(180º) P	V(180º) S	V(270º) P	V(270º) S

Tabla 12 Hipótesis de viento CTE

Cubierta abierta, Huecos > 30%					
Tres módulos, cuatro módulos o cinco módulos abiertos con la posibilidad de puertas o ventanas abiertas.					
Viento descendente			Viento ascendente		
Derecha (180º)	Izquierda (0º)	Frontal (90º) i (270º)	Derecha (180º)	Izquierda (0º)	Frontal (90º) i (270º)
V M1	V M2	V M3	V M4	V M5	V M6

Tabla 13 Hipótesis de viento CTE

El código técnico español diferencia estructuras según el porcentaje de huecos en las superficies de la misma. Cuando el porcentaje de huecos es menor al 30% consideramos que la cubierta se encuentra cerrada, aunque dentro de esta definición se encuentran la situación con 1 o 2 módulos se encuentran abiertos. Se pueden tener 4 direcciones de viento diferentes 0º, 90º, 180º y 270º. Por otro lado, para cada dirección de viento tenemos dos opciones respecto el Cpi, ya que a causa de las puertas y ventanas que pueden ser instaladas en el forjado de la cubierta se pueden dar presión o succión interna.

En las hipótesis de viento lateral $V(0^\circ)$ P, $V(0^\circ)$ S, $V(180^\circ)$ P i $V(180^\circ)$ S se calculara el C_{pe} en su cubierta como una cubierta cilíndrica Tabla D.12 Cubiertas cilíndricas.

En las hipótesis de viento frontal $V(90^\circ)$ P, $V(90^\circ)$ S, $V(270^\circ)$ P i $V(270^\circ)$ S se calculara en C_{pe} en su cubierta como una cubierta a dos aguas Tabla D.6 Cubierta a dos aguas.

Por otro lado, el C_{pe} de los paramentos verticales correspondiente a todas las hipótesis se obtienen de la Tabla D.3 Paramentos verticales del CTE DB SE-AE.

Los coeficientes de C_{pi} correspondientes a las hipótesis con un porcentaje de huecos menor al 30% se obtienen de la Tabla 3.6 Coeficientes de presión interior eligiendo los dos valores extremos.

Cuando el porcentaje de huecos es mayor al 30% consideramos que la cubierta se encuentra abierta. Dentro de este caso se incluyen las situaciones de 3, 4 y 5 módulos abiertos. Para las hipótesis $V M1$, $V M2$, $V M3$, $V M4$, $V M5$, $V M6$ se obtendrá un valor de C_p neto, obtenido de la Tabla D.11 Marquesinas a dos aguas.

La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, qe puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

siendo:

- **q_b** la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse $0,5 \text{ kN/m}^2$. Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo D, en función del emplazamiento geográfico de la obra.

Anejo D. Acción del viento

D.1 Presión dinámica

El valor básico de la presión dinámica del viento puede obtenerse con la expresión:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b$$

Siendo δ la densidad del aire y v_b el valor básico de la velocidad del viento.

Densidad aire kg/m ³	1,25
Vb (Zona I) m/s (Argelia)	25

$$q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25 = 390,645 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

- **Ce** el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Se determina de acuerdo con lo establecido en punto 3.3.3 del CTE DB SE-AE.

Al ser la altura máxima de la estructura 10m el valor del coeficiente de exposición se obtiene de la tabla 3.4 del CTE DB SE-AE.

Se define el grado de aspereza del entorno de la obra como Zona IV “Zona urbana en general, industrial o forestal”. Aun siendo la altura máxima de la estructura 10m, seleccionamos en la tabla 3.4. CTE DB SE-AE la altura de 12m situándonos así del lado de la seguridad.

Por lo tanto, para un grado de aspereza Zona IV y una altura de 12m se obtiene un coeficiente de exposición de 1,9.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Tabla 14 Valores del coeficiente de exposición Ce Tabla 3.4. del CTE DB SE-AE

$$C_e = 1,9$$

- **C_p** el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión. Su valor se establece en 3.3.4 y 3.3.5

3.3.5 Coeficiente eólico de naves y construcciones diáfanas

En naves y construcciones diáfanas, sin forjados que conecten las fachadas, la acción de viento debe individualizarse en cada elemento de superficie exterior. Cuando en al menos dos de los lados del edificio (fachadas o cubiertas) el área total de los huecos exceda el 30% del área total del lado considerado, la acción del viento se determina considerando la estructura como una marquesina o una pared libre.

Calculo del área total de los huecos de cada lado considerado.

Angulo pòrtico = 65°

Radio pòrtico = 24m

- Cubierta cerrada.

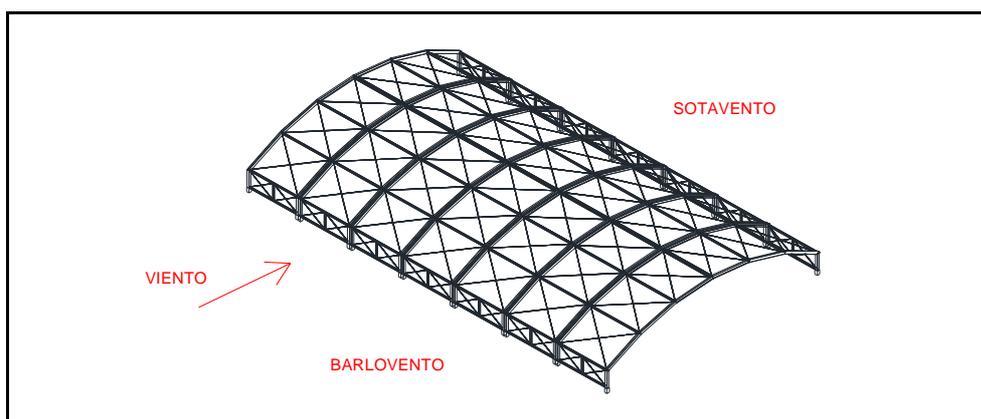


Imagen 26 Cubierta cerrada

Área de la fachada lateral, perpendicular al viento: $A_{\text{lateral}} = 1,647 \cdot 42 = 69,17\text{m}^2$

Área de toda la cubierta: $A_{\text{cubierta}} = (65^\circ / 360^\circ) \cdot \pi \cdot 2 \cdot 24 \cdot 42 = 1151,4\text{m}^2$

- 1 Pórtico abierto.

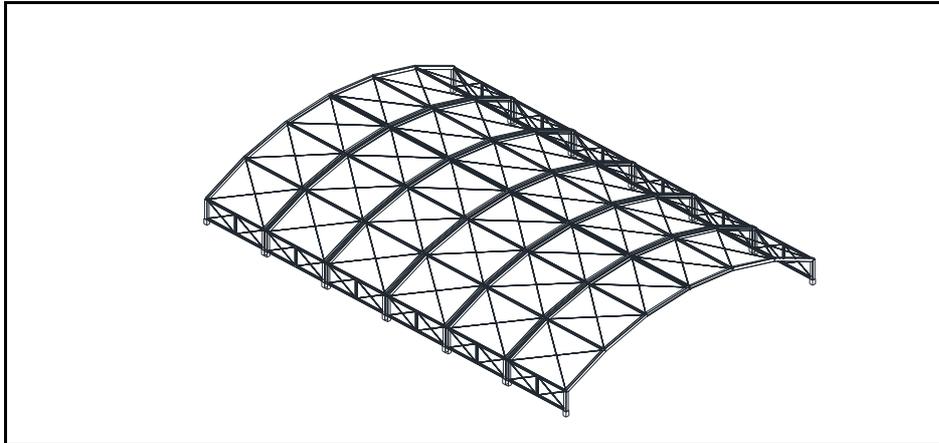


Imagen 27 Cubierta un pórtico abierto

Área del hueco de la fachada lateral: $H_{\text{lateral}} = 1,647 \cdot 6 = 9,88\text{m}^2$

Área del hueco en la cubierta: $H_{\text{cubierta}} = (65^\circ / 360^\circ) \cdot \pi \cdot 2 \cdot 24 \cdot 6 = 164,46\text{m}^2$

- 2 Pórticos abiertos.

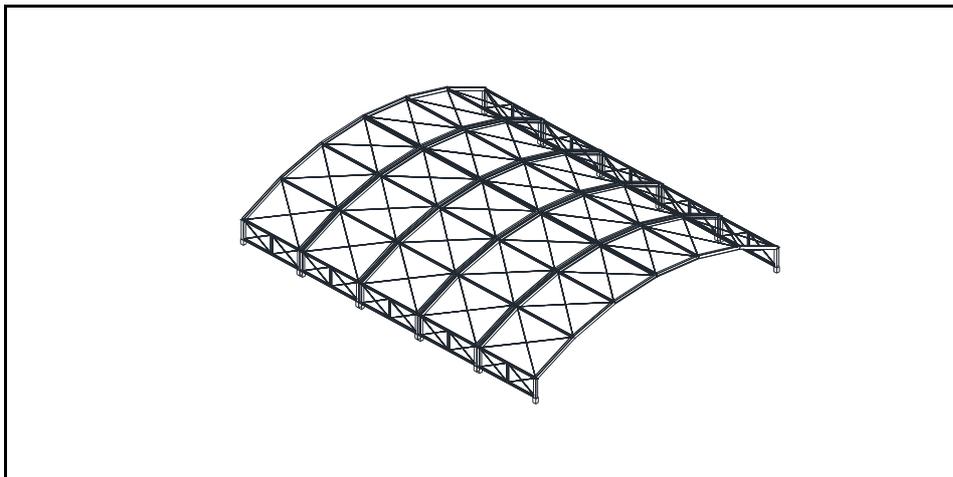


Imagen 28 Cubierta dos pórticos abiertos

Área del hueco de la fachada lateral: $H_{\text{lateral}} = 1,647 \cdot 6 \cdot 2 = 19,76 \text{ m}^2$

Área del hueco en la cubierta: $H_{\text{cubierta}} = (65^\circ / 360^\circ) \cdot \pi \cdot 2 \cdot 24 \cdot 6 \cdot 2 = 328,92 \text{ m}^2$

- 3 Pórticos abiertos.

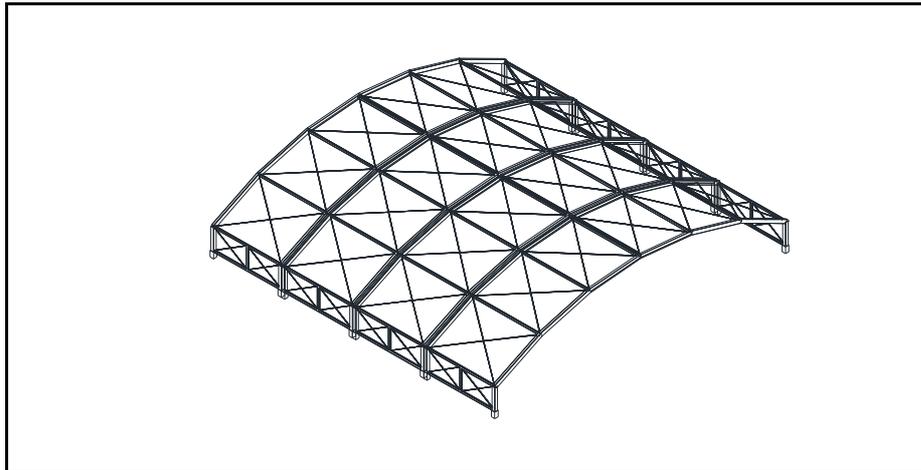


Imagen 29 Cubierta tres pórticos abiertos

Área del hueco de la fachada lateral: $H_{\text{lateral}} = 1,647 \cdot 6 \cdot 3 = 29,64 \text{ m}^2$

Área del hueco en la cubierta: $H_{\text{cubierta}} = (65^\circ / 360^\circ) \cdot \pi \cdot 2 \cdot 24 \cdot 6 \cdot 3 = 493,38 \text{ m}^2$

- 4 Pórticos abiertos.

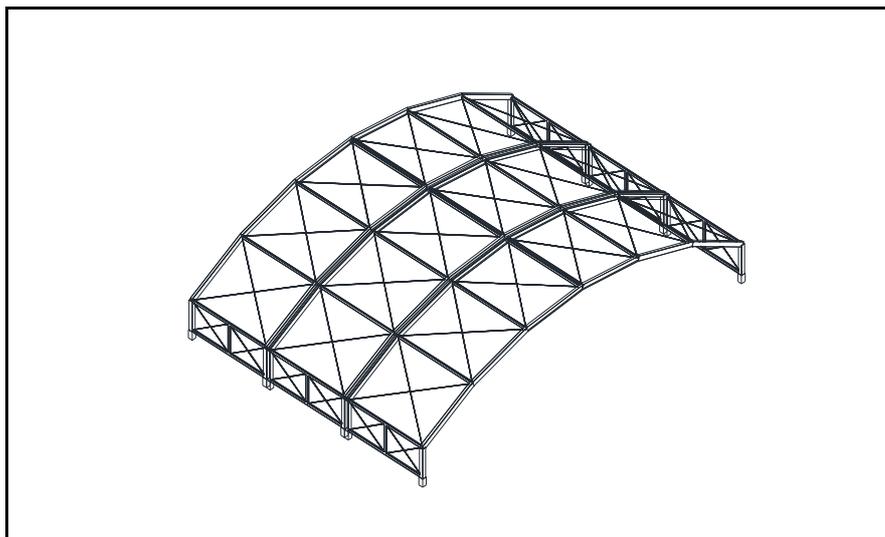


Imagen 30 Cubierta cuatro pórticos abiertos

Área del hueco de la fachada lateral: $H_{\text{lateral}} = 1,647 \cdot 6 \cdot 4 = 39,52 \text{ m}^2$

Área del hueco en la cubierta: $H_{\text{cubierta}} = (65^\circ / 360^\circ) \cdot \pi \cdot 2 \cdot 24 \cdot 6 \cdot 4 = 657,84 \text{ m}^2$

- 5 Pórticos abiertos.

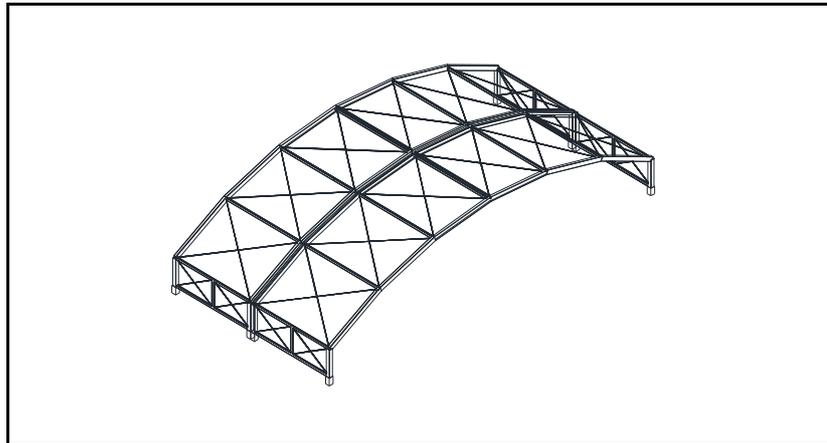


Imagen 31 Cubierta cinco pórticos abiertos

Área del hueco de la fachada lateral: $H_{\text{lateral}} = 1,647 \cdot 6 \cdot 5 = 49,41 \text{ m}^2$

Área del hueco en la cubierta: $H_{\text{cubierta}} = (65^\circ / 360^\circ) \cdot \pi \cdot 2 \cdot 24 \cdot 6 \cdot 5 = 822,3 \text{ m}^2$

- 6 Pórticos abiertos.

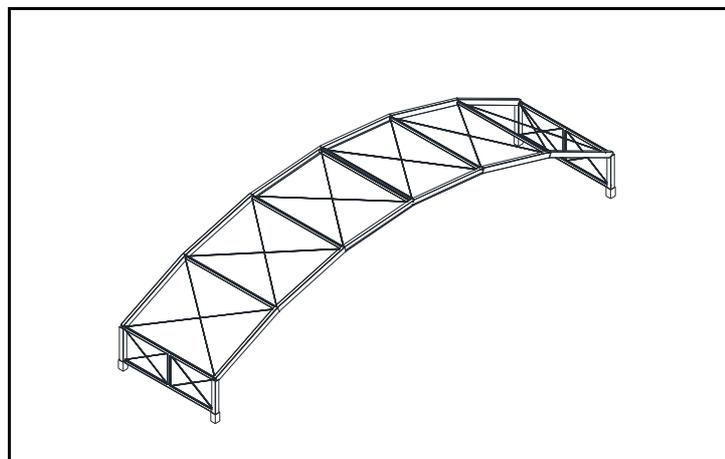


Imagen 32 Cubierta seis pórticos abiertos

$$\text{Área del hueco de la fachada lateral: } H_{\text{lateral}} = 1,647 \cdot 6 \cdot 6 = 59,29 \text{ m}^2$$

$$\text{Área del hueco en la cubierta: } H_{\text{cubierta}} = (65^\circ / 360^\circ) \cdot \pi \cdot 2 \cdot 24 \cdot 6 \cdot 6 = 980,17 \text{ m}^2$$

Módulos abiertos	1	2	3	4	5	6
<i>H_{lateral} (%)</i>	14,17	28,35	42,85	56,7	71,43	85,71
<i>H_{cubierta} (%)</i>	14,28	28,56	42,95	57,13	71,41	85,12

Como se ha podido comprobar en la situación donde se encuentran 3,4, 5 o 6 pórticos abiertos, el área total de los huecos en cada lado del edificio excede el 30% del área total del lado considerado. Estas situaciones corresponden a las hipótesis V M1, V M2, V M3, V M4, V M5 i V M6 donde la acción del viento se determina considerando la estructura como una marquesina.

A efectos del cálculo de la estructura, del lado de la seguridad se podrá utilizar la resultante en cada plano de fachada o cubierta de los valores del Anejo D.3, que recogen el pésimo en cada punto debido a varias direcciones de viento. A los efectos locales, tales como correas, paneles de cerramiento, o anclajes, deben utilizarse los valores correspondientes a la zona o zonas en que se encuentra ubicado dicho elemento.

Si el edificio presenta grandes huecos la acción de viento genera, además de presiones en el exterior, presiones en el interior, que se suman a las anteriores.

El coeficiente eólico de presión interior, C_{pi} , se considera único en todos los en todos los paramentos interiores del edificio que delimitan la zona afectada por la fachada o cubierta que presenta grandes huecos. Para la determinación de la presión interior, en edificios de una sola planta, se considerará como coeficiente de exposición el correspondiente a la altura del punto medio del hueco, salvo que exista un hueco dominante, en cuyo caso el coeficiente de exposición será el correspondiente a la

altura media de dicho hueco. Si el edificio tiene varias plantas se considerará la altura media de la planta analizada. Un hueco se considera dominante si su área es por lo menos diez veces superior a la suma de las áreas de los huecos restantes.

Cuando el área de las aberturas de una fachada sea el doble de las aberturas en el resto de las

fachadas del edificio, se tomará $c_{pi} = 0,75c_{pe}$; si es el triple $c_{pi} = 0,9c_{pe}$ siendo c_{pe} el coeficiente eólico de presión exterior. En casos intermedios se interpolará linealmente. En otro caso se tomarán los valores de la tabla 3.6

JUSTIFICACION VALORES DE C_{pi}.

Las hipótesis de viento: V(0º) P, V(0º) S, V(180º) P, V(180º) S, V(90º) P, V(90º) S, V(270º) P i V(270º) S

tienen coeficiente de presión interior C_{pi}. Aunque la cubierta este totalmente cerrada también se aplica C_{pi} ya que podría haber ventanas y puertas instaladas debajo de la cubierta que podrían abrirse.

Esbeltez en el plano paralelo al viento	Área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del edificio											
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
≤1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	
≥4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	

Tabla 15 Coeficientes de presión interior Tabla 3.6 CTE DB SE-AE

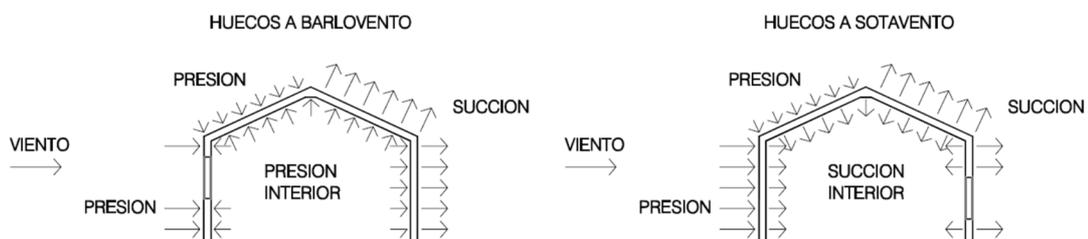


Tabla 16 Coeficientes presión interior gráficos

La esbeltez en el plano paralelo al viento corresponde al cociente de la luz del pórtico y la altura máxima:

$$5,04/25,95 = 0,19 < 1$$

Los coeficientes de presión interna C_{pi} elegidos para una esbeltez en el plano paralelo al viento son 0,7 y -0,5. Ya que dependiendo de la dirección del viento y de la situación del área del hueco nos podemos encontrar con dos situaciones extremas. Una sería tener todos los huecos a barlovento, creando presión interior $C_{pi} = 0,7$. La otra situación sería tener todos los huecos a sotavento, creando succión interior $C_{pi} = -0,5$. Por supuesto se pueden tener muchas más situaciones a parte de estas dos, pero estas son las más extremas.

Esbeltez plano paralelo al viento <1	
0 y 1 valores extremos	
C_{pi}	q_i (N/m ²)
0,7	491,8317408
-0,5	-351,3083863

Tabla 17 Valores de presión y succión interior

A continuación, mediante el Anejo D.3 Coeficientes de presión exterior del CTE DB SE-AE se procede a obtener los C_{pe} el coeficiente de presión exterior e interiores para cada hipótesis dada.

JUSTIFICACIÓN DEL C_{pe} EN LOS PARAMENTOS VERTICALES.

Todas las hipótesis de viento descritas anteriormente tienen coeficiente de presión exterior en sus paramentos verticales. Los valores de los C_{pe} en las diferentes zonas de los paramentos verticales son los mismos para viento lateral y frontal, la única diferencia que hay entre las dos direcciones de viento es el cambio de dimensión del área de cada zona, ya que el área de incidencia del viento cambia según sea viento lateral o frontal.

Según el Anejo D. Acciones de Viento, Tabla D.3 Paramentos verticales.

A (m ²)	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3

Tabla 18 Paramentos verticales Tabla D.3 del CTE DB SE-AE

Área influencia (viento lateral) = $42 \cdot 5,04 = 210 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$

Área influencia (viento frontal) = $26 \cdot 5,04 = 130 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$

h/d (viento lateral) = $5,04/25,9 = 0,19 < 0,25$

h/d (viento frontal) = $5,04/42 = 0,12 < 0,25$

Paramentos Verticales		
ZONA	Cpe,10	qe (N/m ²)
A	-1,2	-1692,1875
B	-0,8	-1128,125
C	-0,5	-705,078125
D	0,7	987,109375
E	-0,3	-423,046875

Tabla 19 Valores de presión exterior en paramentos verticales

- Viento lateral.

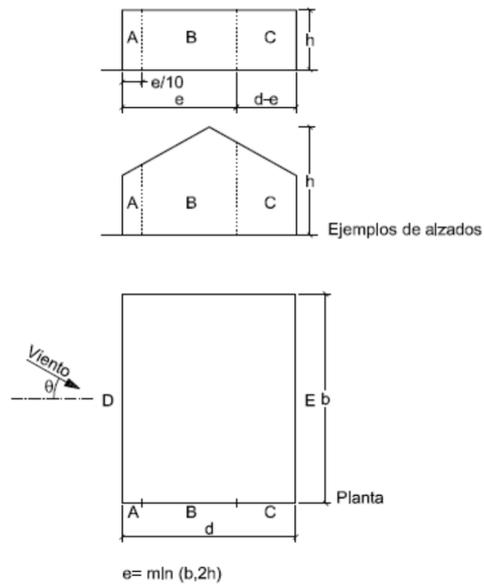


Imagen 33 Zonas viento lateral paramentos laterales

$e = 2 \cdot h = 2 \cdot 5,04 = 10,08\text{m}$
--

- Viento frontal.

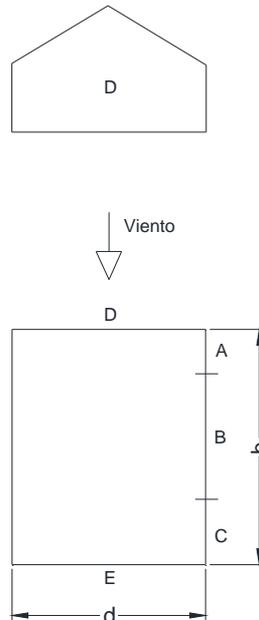


Imagen 34 Zonas viento frontal paramentos frontales

JUSTIFICACION DEL Cpe EN CUBIERTA CILINDRICA PARA VIENTO LATERAL.

Ya que el CTE DB SE AE no recoge la solución a una cubierta poligonal de seis lados como la estudiada en este proyecto, se harán una serie de suposiciones y aproximaciones para poder utilizar los Cpe que recoge el CTE DB SE AE.

Para las hipótesis V (0°) P, V (0°) S, V (180°) P, V (180°) S en las cuales el viento incide lateralmente y el total de los huecos son menores al 30% del área total del lado estudiado, se calculará los Cpe en la cubierta según la Tabla. D.12 del CTE SB SE-AE Cubiertas cilíndricas. Se aproxima la cubierta poligonal de 6 lados a una cubierta cilíndrica.

Según los siguientes parámetros que definen la gráfica de la Imagen 31 se obtienen los Cpe en la cubierta.

f=	3,76	f/d=	0,14
d=	25,98	g/d=	0,063 = 0
g=	1,647	h/d=	0,19

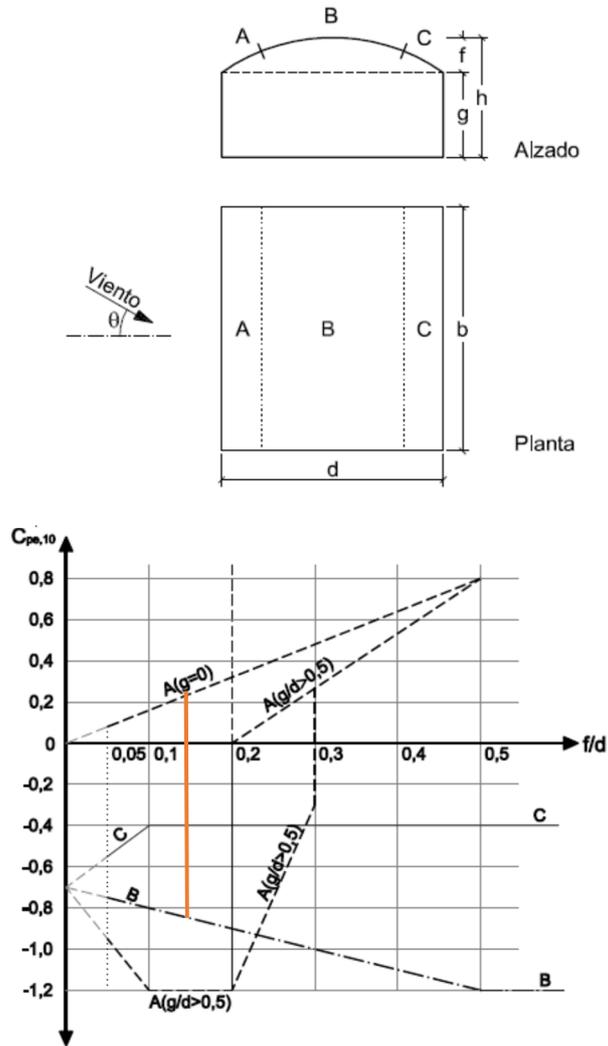


Imagen 35 Zonas de viento lateral sobre cubierta cilíndrica Tabla D.12 CTE DB SE-AE

Cubierta Cilíndrica		
ZONA	Cpe,10	qe (N/m ²)
A	0,25	352,5390625
B	-0,85	-1198,632813
C	-0,4	-564,0625

Tabla 20 Valores de presión exterior en cubierta cilíndrica

JUSTIFICACION DEL Cpe EN CUBIERTA A DOS AGUAS PARA VIENTO FRONTAL.

Para las hipótesis V (90º) P, V (90º) S, V (180º) P, V (180º) S, en las cuales el viento incide frontalmente y el total de los huecos son menores al 30% del área total del lado estudiado, se calculará los Cpe en la cubierta según la Tabla. D.6 b) del CTE DB SE-AE Cubierta a dos aguas. Se aproxima la cubierta poligonal de 6 lados a una cubierta a dos aguas, ya que suponer una cubierta a dos aguas para nuestro modelo es la única solución que se puede adoptar utilizando el CTE. La pendiente de la cubierta se toma desde el punto más alto de esta, hasta la parte superior del paramento lateral, obteniendo un ángulo de 15º.

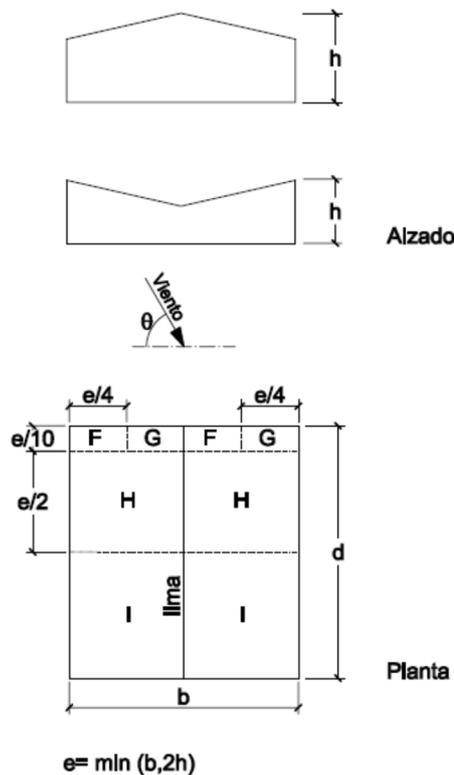


Imagen 36 Zonas de viento sobre cubierta a dos aguas

$e = 2 \cdot h = 2 \cdot 5,04 = 10,08 \text{ m}$

Área influencia (viento frontal) = $26 \cdot 5,04 = 130 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$			
		F	G	H	I
15°	≥ 10	-1.3	-1.3	-0.6	-0.5
	≤ 1	-2.0	-2.0	-1.2	-0.5

Tabla 21 Cubierta a dos aguas Tabla D.6 b) del CTE DB SE-AE

Cubierta a Dos Aguas		
ZONA	Cpe,10	qe (N/m ²)
F	-1,3	-1833,20313
G	-1,3	-1833,20313
H	-0,6	-846,09375
I	-0,5	-705,078125

Tabla 22 Valores de presión externa sobre cubierta a dos aguas

JUSTIFICACION DEL Cpe EN MARQUESINA A DOS AGUAS PARA VIENTO LATERAL Y FRONTAL.

Para las hipótesis V M1, V M2, V M4, V M5, en las cuales el viento incide lateralmente, y para las hipótesis V M3, V M5, en las cuales el viento incide frontalmente, siendo además el total de los huecos mayores al 30% del área total del lado estudiado, se calculará los Cpe en la cubierta según la Tabla. D.11 Marquesina a dos aguas del CTE DB SE-AE. Se aproxima la cubierta poligonal de 6 lados a una marquesina a dos aguas, ya que suponer una marquesina a dos aguas para nuestro modelo es la única solución que se puede adoptar utilizando el CTE cuando el total de los huecos es mayor al 30% de la superficie. La pendiente de la cubierta se toma desde el punto más alto de esta, hasta la parte superior del paramento lateral, obteniendo un ángulo de 15°. Dependiendo del efecto del viento se hacia abajo o hacia arriba tendremos unos valores máximos y mínimos de Cpe.

Se considera un coeficiente de obstrucción $\varphi=1$ ya que cuando tenemos varios tramos de la cubierta abiertos el viento puede entrar dentro de la instalación sin escapatoria.

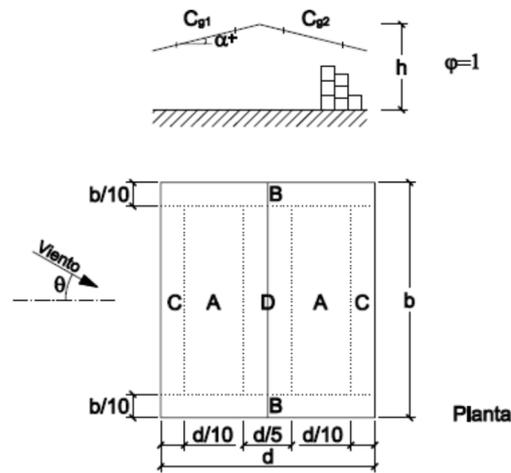


Imagen 37 Zonas de viento sobre marquesina a dos aguas

Marquesina dos aguas $\alpha=15^\circ$, $\varphi=1$ (Cargas en Cubierta)		
ZONA	$C_{p,10}$	q_e (N/m ²)
A max	0,9	1269,14063
A min	-1,3	-1833,2031
B max	1,9	2679,29688
B min	-2,2	-3102,3438
C max	1,4	1974,21875
C min	-1,6	-2256,25
D max	0,4	564,0625
D min	-2,1	-2961,3281

Tabla 23 Valores de presión externa sobre marquesina

Pendiente de la cubierta α	Efecto del viento hacia	Factor de obstrucción φ	Coeficientes de presión			
			$C_{p,10}$			
			Zona (según figura)			
			A	B	C	D

15°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,9	1,9	1,4	0,4
	Arriba	0	-0,9	-1,7	-1,4	-1,8
	Arriba	1	-1,3	-2,2	-1,6	-2,1

Tabla 24 Coeficientes de presión de marquesina a dos aguas Tabla D11 del CTE DB SE-AE

5.2.3. Acciones térmicas.

Las acciones térmicas son las producidas por variaciones en la temperatura.

En el presente proyecto no se considerarán acciones térmicas, ya que según la norma CTE-DB-SE-A punto 3.3.1.3 no se aplicarán acciones térmicas en los casos donde existan juntas de dilatación o no se dispongan de elementos continuos de más de 40m de longitud. En la estructura metálica diseñada no se dispone de elementos de una longitud mayor a 40m, por esta razón no se consideran acciones térmicas.

5.2.4. Acciones nieve.

Según indica el punto 3.5 del CTE la carga de nieve en estructuras ligeras se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

μ = coeficiente de forma de la cubierta según 3.5.3 del CTE. Al no haber en la cubierta ningún impedimento al deslizamiento de la nieve y además la inclinación de la cubierta se puede aproximar a 15°, situándola entre los límites de 30° y 0° que otorgan un coeficiente de forma de 1.

s_k = valor de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según 3.5.2 del CTE.

Para obtener un valor de la carga de nieve se ha buscado una capital de provincia con una altura sobre el nivel del mar próximo a los 63msnm, altura la cual está situada Boufarik.

La ciudad elegida es Murcia, ya que está situada a 45 msnm y, además su latitud es muy próxima a la de Boufarik, hecho que justifica un clima muy similar entre las dos situaciones geográficas. Así que el valor de s_k en la ciudad de Murcia es de 0,2 KN/m².

Coordenadas Murcia:

Latitud: 37° 59' 00" Norte (**37.983°**)

Longitud: 01° 08' 00" Oeste (-1.133°)

Coordenadas Boufarik:

Latitud: 36° 34' 00" Norte (**36.645°**)

Longitud: 03° 55' 00" Este (3.410°)

El valor de la carga de nieve es el siguiente:

$$q_n = 1 \cdot 0,2 = 0,2 \text{ KN/m}^2$$

Dicha carga de nieve se reparte uniformemente y constante por la superficie de la cubierta. Al no haber ningún saliente ni faldón la nieve no podrá acumularse, evitando así una sobrecarga puntual.

5.3. Acciones accidentales.

5.3.1. Acciones sísmicas.

Las acciones sísmicas son las producidas por las aceleraciones de las sacudidas sísmicas. En España las acciones sísmicas están reguladas en la NSCE, Norma de construcción sismo resistente: parte general y edificación.

Para calcular las acciones sísmicas que se pueden dar en Boufarik (donde se instalara la cubierta) mediante la legislación española y de esta forma poder hacer una comparación entre la legislación española y argelina, se deberá de tomar una ciudad española con una carga sísmica similar a la de Boufarik.

Dada las referencias históricas de fenómenos sísmicos en Boufarik, la peligrosidad sísmica en dicha población es la más elevada de toda Argelia.

Como se puede observar en la imagen 34, Granada es una capital de provincia con un riesgo sísmico más elevado de toda España.

Por lo tanto, se elige la ciudad de Granada para calcular la acción sísmica en la obra, ya que tanto Granada (España), como Boufarik (Argelia) son ciudades con el mayor riesgo sísmico posible en sus respectivos países.



Imagen 38 Mapa de peligrosidad sísmica en España

A la hora de calcular las acciones de sismo que pueden llegar a tener lugar en la estructura en estudio hay que definir varios aspectos que definen la estructura frente al método de cálculo.

- AMORTIGUAMIENTO.

El amortiguamiento es evaluado en tanto por cien y viene definido por el tipo de estructura y el tipo de planta. En este caso se trata de una estructura de acero laminado con una planta diáfana correspondiendo un 4% de amortiguamiento.

- **COEFICIENTE DE RIESGO.**

Se trata de un coeficiente adimensional en función de la probabilidad aceptable de que se exceda el valor de la aceleración sísmica en el periodo de vida útil para el que se proyecta la construcción.

Esta obra se trata de una construcción de importancia normal con un coeficiente de riesgo de 1,0.

Una obra definida de importancia normal puede ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad o producir importantes pérdidas económicas, sin tratarse de un servicio imprescindible ni que pueda dar lugar a efectos catastróficos.

- **TIPO DE SUELO.**

El suelo donde se llevará lugar la obra es de Tipo III al cual le corresponde un coeficiente $C = 1,6$. Un terreno de Tipo III se trata de un suelo granular de compacidad media o de un suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme. Su velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla se encuentra entre 400 m/s y 200 m/s.

- **SOBRECARGA A CONSIDERAR.**

Aunque la obra no se trata de una vivienda, se opta por considerar un coeficiente de sobrecarga de 0,5 correspondiente a un uso de viviendas hoteles y residencias. Ya que en el interior de la obra se realizarán actividades deportivas a cargo de personas.

- **NIEVE A CONSIDERAR.**

No se considera ninguna sobrecarga de nieve ya que no existirán periodos de más de 30 días al año con nieve permaneciendo en la cubierta.

5.3.2. Acciones sobre el terreno.

En el presente proyecto no se considerarán posibles desplazamientos horizontales del terreno sobre la cimentación de la estructura.

6. Cargas aplicadas sobre la estructura (Legislacion argelina)

DTR.

El ministerio argelino de hábitat y urbanismo define el documento DTR (document technique règlementaire) C 2-47 RNV 99 como la norma a seguir en el cálculo de cargas de nieve viento y arena en Argelia.

Como ya se comentó anteriormente los programas informáticos que se van a utilizar para dimensionar la estructura no incluyen la estructura que se está estudiando, ya que no se trata de una estructura tipo. Así que se van a calcular las cargas de viento siguiendo este reglamento para posteriormente introducir las en el programa informático.

6.1. Acciones permanentes.

6.1.1. Peso propio.

El valor característico del peso propio de los elementos constructivos, se determinará, en general, como su valor medio obtenido a partir de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios

- ESTRUCTURA METALICA

La estructura metálica está formada por diferentes perfiles ya sean los pilares HBE, vigas IPE, tirantes sección circular o correas con perfil rectangular, todas ellas están conformadas por acero laminado S235JR con un **peso propio** de 76,93 KN/m³.

MATERIAL: Acero laminado s235JR, 76.93 KN/m³.

- CUBIERTA

La cubierta esta forma por paneles de policarbonato celular translucido.

Ficha técnica facilitada por el fabricante.

Carga destruida: 0,027 KN/m².

6.2. Acciones variables.

6.2.1. Sobre carga de uso.

Al igual que en CTE, en el DTR la sobrecarga de uso se extrae del Eurocódigo. Por lo tanto, el valor de la sobrecarga será el mismo en la legislación argelina que el tomado en la legislación española.

Por lo general, los efectos de la sobrecarga de uso pueden simularse por la aplicación de una carga distribuida uniformemente. De acuerdo con el uso que sea fundamental en cada zona del mismo, como valores característicos se adoptarán los de la Tabla 3.1. Dichos valores incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, personas, mobiliario, enseres, mercancías habituales, contenido de los conductos, maquinaria y en su caso vehículos, así como las derivadas de la utilización poco habitual, como acumulación de personas, o de mobiliario con ocasión de un traslado.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [KN/m ²]	Carga concentrada [KN]
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación	G1	Cubierta con inclinación inferior a 20º	1	2

			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado)	0,4	1
		G2	Cubierta con inclinación superior a 40º	0	2

Tabla 25 Valores característicos de las sobrecargas de uso

El valor indicado se refiere a la proyección horizontal de la superficie de la cubierta. El valor de sobrecarga será de 0,4 kN/m², ya que la cubierta está clasificada como cubierta ligera y por otro lado, la cubierta de policarbonato celular se instala sobre correas.

Se entiende por cubierta ligera aquella cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no excede de 1 kN/m².

En el caso de la cubierta de policarbonato celular a instalar el valor de la carga es menor a 1kN/m² ya que el policarbonato celular tiene una carga uniforme de 0,027kN/m²

A los efectos de combinación de acciones, las sobrecargas de cada tipo de uso tendrán la consideración de acciones diferentes. Los ítems dentro de cada subcategoría de la tabla 3.1 son tipos distintos.

6.2.2. Acciones por viento.

Cubierta cerrada							
Cubierta cerrada, con la posibilidad de puertas o ventanas abiertas.							
Viento 0º		Viento 90º		Viento 180 º		Viento 270º	
Cpi presión	Cpi succión	Cpi presión	Cpi succión	Cpi presión	Cpi succión	Cpi presión	Cpi succión
V(0º) P	V(0º) S	V(90º) P	V(90º) S	V(180º) P	V(180º) S	V(270º) P	V(270º) S

Tabla 26 Hipótesis de viento cubierta cerrada

Cubierta abierta					
1, 2, 3, 4, 5 pórticos abiertos con la posibilidad de puertas o ventanas abiertas.					
Viento descendente			Viento ascendente		
Derecha (180º)	Izquierda (0º)	Frontal (90º) i (270º)	Derecha (180º)	Izquierda (0º)	Frontal (90º) i (270º)
V M1	V M2	V M3	V M4	V M5	V M6

Tabla 27 Hipótesis de viento cubierta abierta

El código técnico argelino define dos tipos de estructuras. Por un lado, estructuras cerradas por su cubierta y sus paramentos laterales con la posibilidad de que haya ventanas y puertas abiertas. Por otro lado, estructura del tipo marquesina, con cubierta, pero sin paramentos laterales.

Así que a la hora de definir las hipótesis de viento las separamos en hipótesis para cubierta cerrada e hipótesis para cubierta abierta.

En las hipótesis de cubierta cerrada se encontrarán las hipótesis de las cuatro direcciones de viento combinadas con el coeficiente de presión interior a presión o a succión correspondiente a la posibilidad de ventanas y puertas abiertas. Las hipótesis de para cubierta abierta corresponde a estados de un, dos, tres, cuatro o cinco pórticos abiertos, donde se calculará su coeficiente de presión como una marquesina, ya que el aire se podrá introducir por el hueco despejado por los pórticos abiertos produciéndose el efecto como si una marquesina fuera.

Este código técnico define la estructura estudiada como de categoría I ya que se trata de una estructura y no de un edificio.

La presión que ejerce un elemento en una cara de la estructura es dad por la siguiente expresión.

Como a continuación se verá, q_j será un valor de presión en superficie neto, ya que la presión que se ejerce sobre la superficie es un valor neto al realizarse la diferencia entre coeficientes de presión interior y exterior (W , N/m^2).

$$q_j = C_a \times W(z_j) \text{ [N/m}^2\text{]}$$

- **C_d** es el coeficiente dinámico de construcción. Según el capítulo 3 del código técnico se calcula de la siguiente forma:

Al tratarse de una estructura de metal con una altura menor de 200m, C_d se obtiene de la Figura 3.2.

Viento lateral: b=42m ; h=5,04m
Viento frontal: b=25,95 ; h=5,04m

Para las hipótesis de viento lateral se obtiene un C_d=0,9.

Para las hipótesis de viento frontal se obtienen un C_d=0,92.

Para simplificar las combinaciones de viento lateral y frontal se opta por utilizar el C_d = 0,92 en todas las hipótesis de viento. Ya que no habrá un cambio significativo entre utilizar 0,9 o 0,92 entre vientos y utilizando 0,92 en todas las hipótesis aumentamos la seguridad frente vientos laterales.

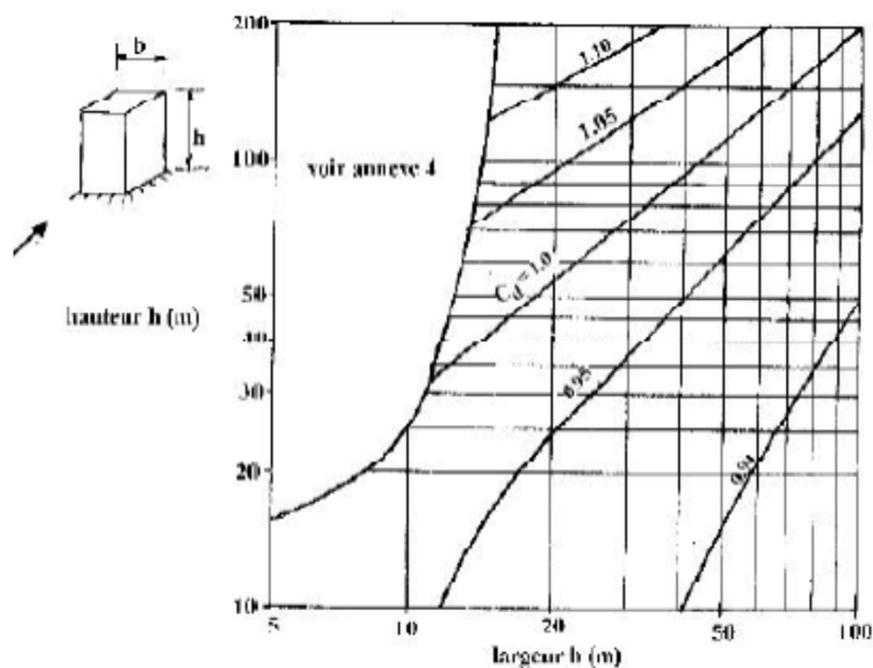


Imagen 39 Grafica C_d , Figure 3.2. Valeurs de C_d pour les structures métalliques del DTR C 2-47

**Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.*

- **W** en N/m² es la presión neta que ejerce el viento en la cara incidente. Como en la estructura que se está analizando el aire incide en el exterior, pero también en el interior en las hipótesis en las cuales la cubierta se está abriendo la expresión a seguir es la siguiente:

$$W(z_j) = q_{dyn}(z_j) \times [C_{pe} - C_{pi}] \quad [N/m^2]$$

- **q_{dyn}** se trata de la presión dinámica del viento calculada a la altura máxima de la estructura en N/m². Según el punto 3.1.2. del código técnico, al tratarse de una estructura con una altura máxima menor a 10m y tratarse de una estructura permanente se debe de calcular utilizando la siguiente expresión:

$$q_{dyn}(z_j) = q_{ref} \times C_e(z_j) \quad [N/m^2]$$

- **q_{ref}** se trata de la presión dinámica de referencia para construcciones permanentes en función de la zona de viento. En nuestro caso **q_{ref}** =375 N/m², ya que según la tabla del código técnico 2.3 la localidad de Boufarik se encuentra en la provincia de Blida, la cual corresponde a una zona de viento I.
- **C_e** se trata del coeficiente de exposición al viento, en función de la rugosidad y la topografía del terreno. Para estructuras sensibles a excitaciones dinámicas **C_e** debe de calcularse utilizando la siguiente expresión:

C_e(z) =		C_r(z)² × C_t(z)² × [1
+ 2 × g	q dyn (N/m ²)	× I_v(z)]
	2097,805094	
	C _e	
	5,59	

I_v se trata de un coeficiente que mide la turbulencia del aire en función de la altura. Su valor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$I_v(z) = \frac{1}{C_r(z) \times \ln\left[\frac{z}{z_0}\right]}$$

I_v
0,27

Donde C_r se trata del coeficiente de rugosidad del terreno, para su obtención se utilizará la siguiente expresión:

$$C_r(z) = K_T \times \ln(z_{\min} / z_0) \text{ ya que } z(5,04\text{m}) < z_{\min}(8\text{m})$$

C_r
0,72

El coeficiente topográfico C_t toma el valor de **1,3** ya que la situación de la obra tiene a su alrededor valles cercano y ramblas que pueden canalizar el viento. Los valores de C_t vienen definidos en la tabla 2.5 del reglamento técnico.

Los parámetros K_T, z_{\min}, z_0 de la expresión anterior son obtenidos de la tabla 2.4 en función de la categoría del terreno. Para zonas industriales o suburbanas el cual es el caso de nuestra localización el valor de los parámetros corresponde a la categoría del terreno III.

$$K_T = 0,22; z_0 = 0,3\text{m}; z_{\min} = 8\text{m}; \epsilon = 0,37$$

Catégories de terrain	K_T	z_0 (m)	z_{min} (m)	ϵ
I En bord de mer, au bord d'un plan d'eau offrant au moins 5 km de longueur au vent, régions lisses et sans obstacles.	0,17	0,01	2	0,11
II Régions de culture avec haies et avec quelques petites fermes, maisons ou arbres.	0,19	0,05	4	0,26
III Zones industrielles ou suburbaines, forêt, zones urbaines ne rentrant pas dans la catégorie de terrain IV	0,22	0,3	8	0,37
IV Zones urbaines dont au moins 15% de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15 m.	0,24	1	16	0,46

Tabla 28 Categorías de terreno, Tableau 2.4 Définition des catégories de terrain del DTR C 2-47

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

- Obtención de los diferentes **C_p** para las diferentes hipótesis planteadas y cálculo de **q_i** para las diferentes zonas de viento.

En el código técnico argelino se tiene el mismo problema que en el CTE SE AE, ya que tampoco recoge la solución a una cubierta poligonal de seis lados como la estudiada en este proyecto, se harán una serie de suposiciones y aproximaciones para poder utilizar los **C_{pe}** tabulados que recoge el código técnico argelino.

La superficie de incidencia del viento en todas las superficies de la estructura es mayor a 10m² por lo tanto los coeficientes de presión exterior que se utilizarán serán los denominados como **C_{pe,10}**.

JUSTIFICACION DEL **C_{pi}**

Las situaciones de viento frontal y lateral con la cubierta totalmente cerrada, aunque la cubierta este totalmente cerrada se aplica **C_{pi}**, ya que podría haber ventanas y puertas instaladas debajo de la cubierta que podrían abrirse. Debe de suponerse que puede haber puertas y ventanas abiertas.

Ya sea para viento lateral o frontal, dependiendo de la dirección del viento y de la situación del área del hueco nos podemos encontrar con dos situaciones extremas. Una sería tener todos los huecos a barlovento, creando presión interior $C_{pi} = 0,8$. La otra situación sería tener todos los huecos a sotavento, creando succión interior $C_{pi} = -0,5$. Por supuesto se pueden tener muchas más situaciones a parte de estas dos, pero estas son las más extremas.

Al tener dos posibles situaciones de presión interna (succión o presión) para cada dirección de viento tendremos la combinación de C_{pe} con los dos valores de C_{pi} . Así pues, se obtendrán para cada dirección de viento dos valores de q_i (presión en superficie neto N/m^2): $V(0^\circ)$ Presión int., $V(0^\circ)$ Succión int., $V(90^\circ)$ Presión int., $V(90^\circ)$ Succión int., $V(180^\circ)$ Presión int., $V(180^\circ)$ Succión int., $V(270^\circ)$ Presión int., $V(270^\circ)$ Succión int.

Los valores de C_{pi} son obtenidos del punto 2.2.1 correspondiente al Capítulo 5 del DTR C 2-47.

JUSTIFICACION DEL C_{pe} y CALCULO DE q_i EN LOS PARAMENTOS VERTICALES.

Como se ha podido ver en el CTE, todas las hipótesis de viento correspondiente tienen coeficiente de presión exterior en sus paramentos verticales. Los valores de los C_{pe} en las diferentes zonas de los paramentos verticales son los mismos para viento lateral y frontal, la única diferencia que hay entre las dos direcciones de viento es el cambio de dimensión del área de cada zona, ya que el área de incidencia del viento cambia según sea viento lateral o frontal.

Según el Capítulo 5, punto 1.1.2 los coeficientes de viento exterior en los paramentos verticales se obtienen de la tabla 5.1 del DTR C 2-47.

A		B, B'		C		D		E	
$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$								
- 1,0	- 1,3	- 0,8	- 1,0	- 0,5		+ 0,8	1,0	- 0,3	

Tabla 29 Coeficientes de presión exterior paramentos laterales, Tableau 5.1 del DTR C 2-47

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

Paramentos verticales (viento lateral y frontal)			
Zonas	C_{pe}	q_i (Cpi presión) (N/m ²)	W (Cpi presión) (N/m ²)
A	-1	-1583,666591	-1721,376729
B	-0,8	-1407,703636	-1530,112648
C	-0,5	-1143,759204	-1243,216526
D	0,8	0	0
E	-0,3	-967,7962498	-1051,952445
Zonas	C_{pe}	q_j (Cpi succión) (N/m ²)	W (Cpi succión) (N/m ²)
A	-1	-439,9073863	-478,1602025
B	-0,8	-263,9444318	-286,8961215
C	-0,5	0	0
D	0,8	1143,759204	1243,216526
E	-0,3	175,9629545	191,264081

Tabla 30 Presión exterior paramentos verticales

$$d = 25,96 \text{ m}, h = 5,04 \text{ m}, 2h = 10,08 \text{ m}, b = 42 \text{ m}$$

$$e = \text{Min} [b ; 2h] = 10,08 \text{ m} ; \underline{d > e}$$

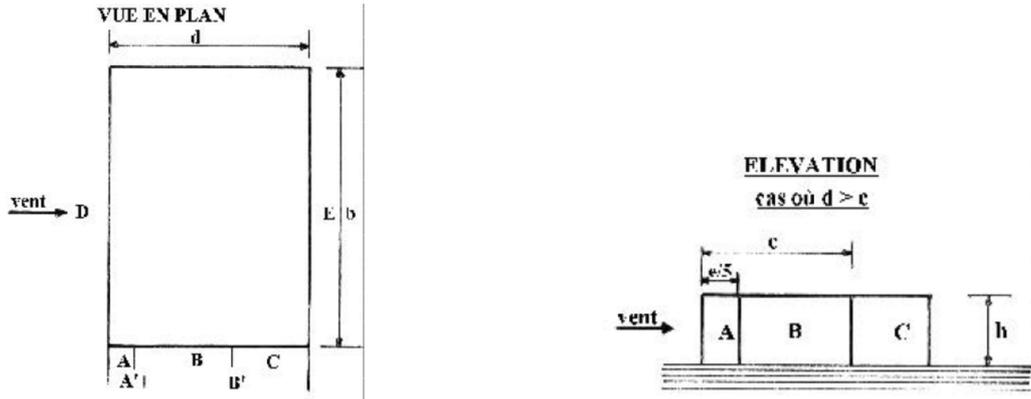


Imagen 40 Zonas de viento paramentos verticales para viento lateral

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

$d = 42 \text{ m}, h = 5,04 \text{ m}, 2h = 10,08 \text{ m}, b = 25,95 \text{ m}$

$e = \text{Min} [b ; 2h] = 10,08 \text{ m} ; \underline{d > e}$

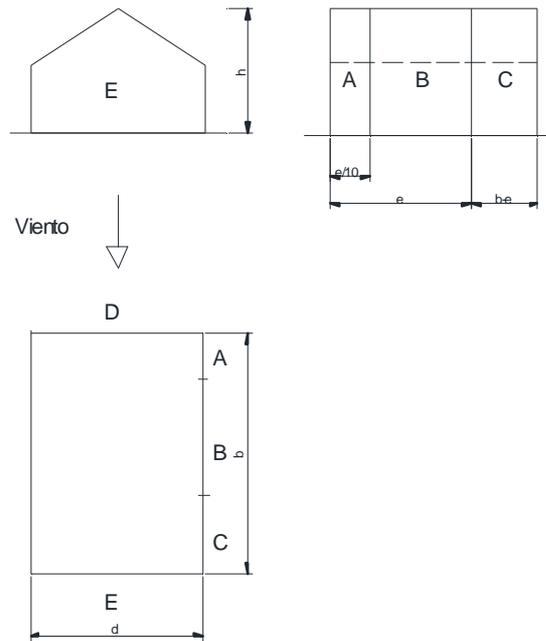


Imagen 41 Zonas de viento paramentos verticales para viento frontal

JUSTIFICACION DE C_{pe} Y CALCULO DE q_j EN CUBIERTA PARA VIENTO LATERAL.

Para las hipótesis V(0°) P, V(0°) S, V(180°) P, V(180°) S las cuales corresponde a cubierta cerrada con viento lateral, se calculará el Cpe aproximando la cubierta poligonal de 6 lados a una cubierta cilíndrica con viento lateral.

Según el punto 1.1.9.1 del Capítulo 5 del DTR C 2-47, el coeficiente de presión exterior para esta situación debe de calcularse de la siguiente forma.

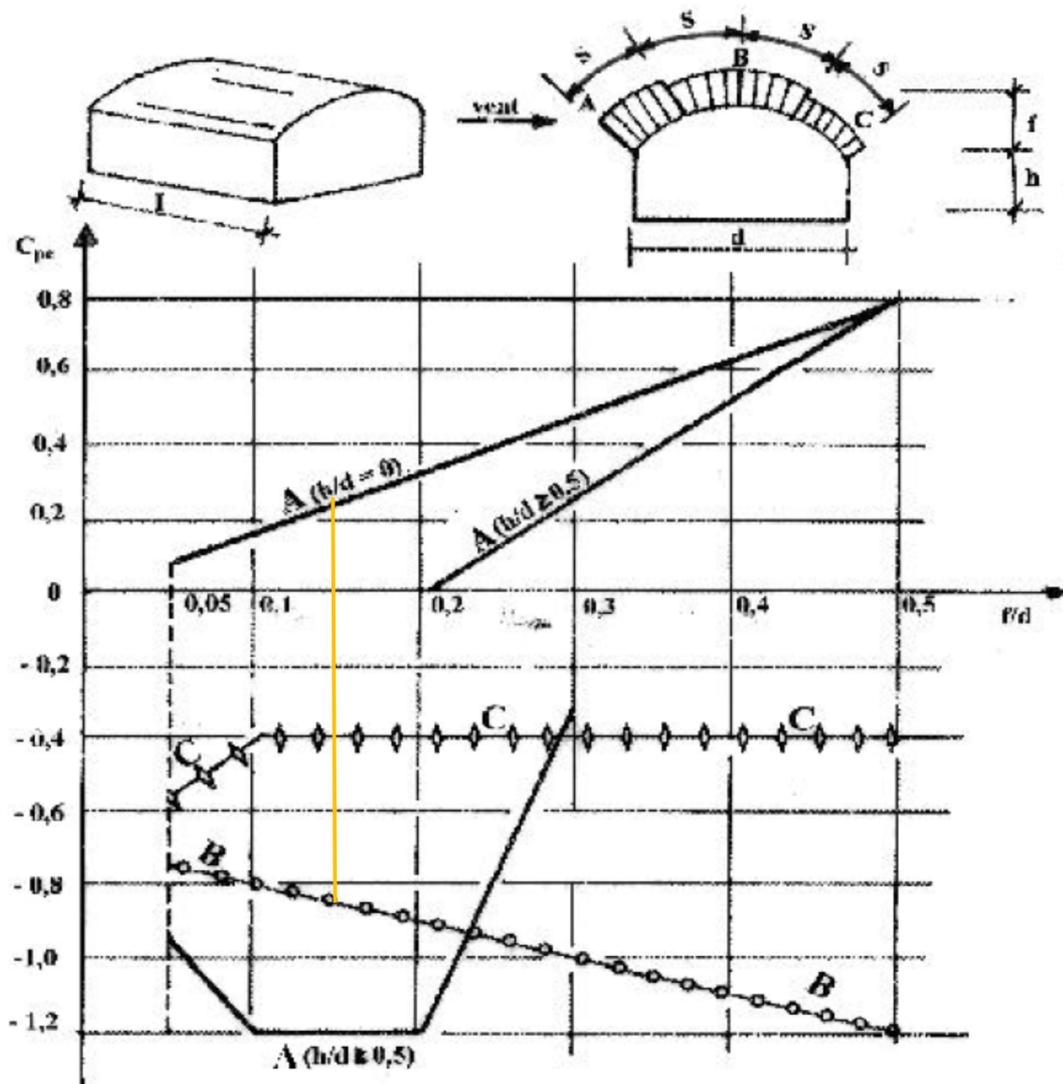


Imagen 42 Zonas de viento para cubierta cilíndrica, Figure 5.8 DTR C 2-47

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

Según los siguientes parámetros que definen la gráfica de la imagen 38 se obtienen los Cpe en la cubierta.

f=	3,76	f/d=	0,14
d=	25,98	h/d=	0,06 = 0
h=	1,647		

Cubierta cilíndrica (viento lateral)			
Zonas	Cpe	qj (Cpi presión) (N/m ²)	W (Cpi presión) (N/m ²)
A	0,25	-483,8981249	-525,9762227
B	-0,85	-1451,694375	-1577,928668
C	-0,4	-1055,777727	-1147,584486
Zonas	Cpe	qj (Cpi succión) (N/m ²)	W (Cpi succión) (N/m ²)
A	0,25	659,8610794	717,2403037
B	-0,85	-307,9351704	-334,7121417
C	-0,4	87,98147725	95,63204049

Tabla 31 Valores de presión externa en cubierta cilíndrica

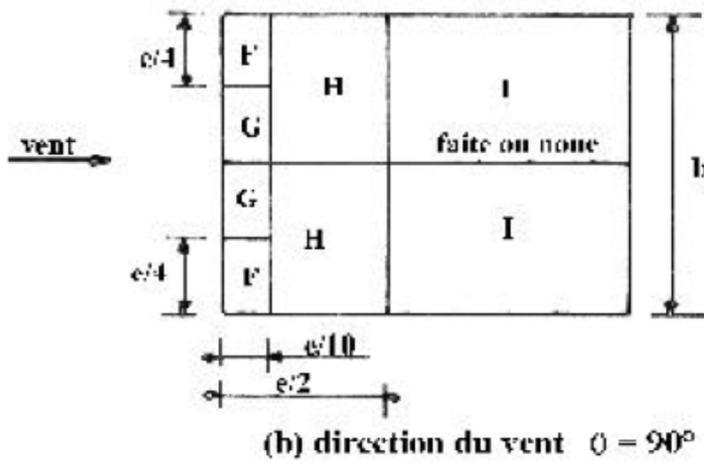
JUSTIFICACION Cpe Y CALCULO EN CUBIERTA PARA VIENTO FRONTAL.

Para las hipótesis V(90°) P, V(90°) S, V(270°) P, V(270°) S las cuales corresponden a cubierta cerrada con viento frontal, se calculará el Cpe aproximando la cubierta poligonal de 6 lados a una cubierta a dos aguas con viento lateral.

Ya que, según el punto 1.1.9.2 del Capítulo 5 del DTR C 2-47, para la situación con viento frontal hay que aproximar la cubierta poligonal a una cubierta a 2 aguas.

La pendiente de la cubierta se toma desde el punto más alto de esta, hasta la parte superior del paramento lateral, obteniendo un ángulo de 15°. Según el punto 1.1.5, Figura 5.4 i tabla 5.4 del DTR C 2-47 los coeficientes de presión exterior para una cubierta a dos aguas con viento frontal se obtienen de la siguiente forma:

$b = 25,95 \text{ m}, 2h = 10,08 \text{ m}.$ $e = \min. [b ; 2h] = 10,08 \text{ m}.$



$$e = \text{Min. } [b ; 2h]$$

b : dimension du côté perpendiculaire au vent

Imagen 43 Zonas de viento para cubierta a dos aguas, Figure 5.4 DTR C 2-47

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

Pente α	Zones pour vent de direction $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
<u>-5°</u>	<u>-1,8</u>	-2,5	<u>-1,2</u>	-2,0	<u>-0,7</u>	-1,2	<u>-0,6</u>	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,5	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Tabla 32 Coeficientes de presión externa sobre cubierta a dos aguas, Tableau 5.4 DTR C 2-47

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

Cubierta a dos aguas (viento frontal)			
Zonas	Cpe	qi (Cpi presión) (N/m ²)	W (Cpi presión) (N/m ²)
F	-1,3	-1847,611022	-2008,27285
G	-1,3	-1847,611022	-2008,27285
H	-0,6	-1231,740682	-1338,848567
I	-0,5	-1143,759204	-1243,216526
Zonas	Cpe	qi (Cpi succión) (N/m ²)	W (Cpi succión) (N/m ²)
F	-1,3	-703,851818	-765,0563239
G	-1,3	-703,851818	-765,0563239
H	-0,6	-87,98147725	-95,63204049
I	-0,5	0	0

Tabla 33 Valores de presión sobre cubierta a dos aguas

JUSTIFICACION DE Cp neto Y CÁLCULO EN CUBIERTA PARA SITUACION CON PORTICOS ABIERTOS.

En las hipótesis V M1, V M2, V M3, V M4, V M5 que corresponden a las diferentes combinaciones de viento frontal y lateral con 1, 2, 3, 4 o 5 pórticos abiertos, la obtención del coeficiente de presión se obtendrá aproximando a una marquesina a dos aguas, ya que como en los casos anteriores, es la situación en el código técnico argelino que más se aproxima al estudio de nuestro caso. Al tratarse de una marquesina no se dispone de Cpi y Cpe , sino de una combinación de los dos llamado Cp neto. La pendiente de la cubierta se toma desde el punto más alto de esta, hasta la parte superior del paramento lateral, obteniendo un ángulo de 15º. Dependiendo del efecto del viento se hacia abajo o hacia arriba tendremos unos valores máximos y mínimos de Cp.

Así que los valores de Cp son obtenidos de la tabla 5.9 incluida en el punto 3 del Capítulo 5 del DTR C 2-47.

De la situación de viento lateral a viento frontal solamente cambia la disposición de las zonas de presión. Para viento frontal las distintas zonas de presión estarán distribuidas a lo largo de la cota d y para viento lateral las zonas de presión estarán distribuidas a lo largo de la cota b.

Cubierta con pórticos abiertos (viento lateral y frontal)				
Zonas	Cpe min	qi min (N/m ²)	W min (N/m ²)	q viga min (N/m)
		351,925909	382,528162	1055,777727
Coef. Global	0,4			
t		791,8332953	860,6883644	2375,499886
r	0,9			
		1671,648068	1817,008769	5014,944203
u	1,9			
		1231,740682	1338,848567	3695,222045
s	1,4			
		351,925909	382,528162	1055,777727
	0,4			
Zonas	Cpe max	qi max (N/m ²)	W max (N/m ²)	q viga max (N/m)
Coef. Global	-1,3			
t		-1143,759204	-1243,216526	-3431,277613
		-1143,759204	-1243,216526	-3431,277613
	-1,3			

r	-2,2	-1935,5925	-2103,904891	-5806,777499
u	-1,6	-1407,703636	-1530,112648	-4223,110908
s	-2,1	-1847,611022	-2008,27285	-5542,833067

Tabla 34 Valores de presión en marquesina a dos aguas

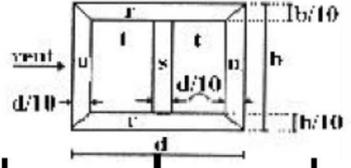
Angle de la toiture α (degrés)	Coefficients globaux				
		zone t	zone r	zone u	zone s
-20	+0,7 -1,3	+0,8 -1,5	+1,6 -2,4	+0,6 -2,4	+1,7 -0,6
-15	+0,5 -1,4	+0,6 -1,6	+1,5 -2,7	+0,7 -2,6	+1,4 -0,6
-10	+0,4 -1,4	+0,6 -1,6	+1,4 -2,7	+0,8 -2,6	+1,1 -0,6
-5	+0,3 -1,3	+0,5 -1,5	+1,5 -2,4	+0,8 -2,4	+0,8 -0,6
+5	+0,3 -1,4	+0,6 -1,3	+1,8 -2,0	+1,3 -1,8	+0,4 -1,5
+10	+0,4 -1,3	+0,7 -1,3	+1,8 -2,0	+1,4 -1,8	+0,4 -1,8
+15	+0,4 -1,3	+0,9 -1,3	+1,9 -2,2	+1,4 -1,6	+0,4 -2,1
+20	+0,6 -1,3	+1,1 -1,4	+1,9 -2,2	+1,5 -1,6	+0,4 -2,1
+25	+0,7 -1,3	+1,2 -1,4	+1,9 -2,0	+1,6 -1,5	+0,5 -2,0
+30	+0,9 -1,3	+1,3 -1,4	+1,9 -1,9	+1,6 -1,4	+0,7 -2,0

Tabla 35 Coeficientes de presión externa marquesina, Tableau 5.9 DTR C 2-47

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

6.2.2.1. Carga de nieve.

Según indica el punto 3.1.1 del DTR Primera Parte la carga de nieve en estructuras ligeras se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$Q_n = \mu \cdot S_k$$

μ = coeficiente de forma de la cubierta según punto 6 del DTR Primera Parte.

Dependiendo de la forma de la cubierta se utiliza un método u otro para la obtención del coeficiente de forma. En este caso en concreto se debe de aproximar la cubierta poligonal de 6 segmentos a una cubierta cilíndrica, punto 6.3.

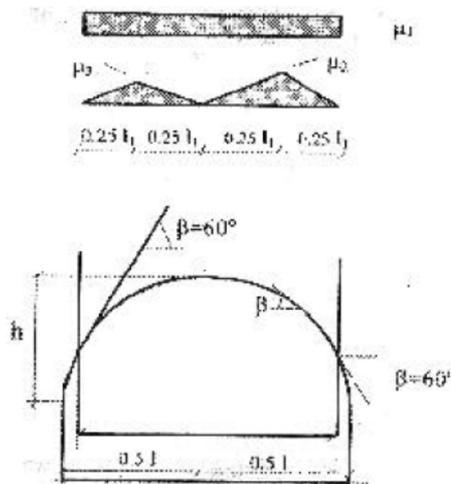


Imagen 44 Zonas de nieve sobre cubierta cilíndrica, Figure 6.6 DTR C 2-47

Como se puede observar en la Imagen 40 dependiendo del punto de la cubierta y de su pendiente se definirán unos valores en el coeficiente de forma y otros. Para las zonas de la cubierta que se superen los 60° de inclinación los coeficientes de forma μ_1 , μ_2 , μ_3 tendrán valor nulo. Sin embargo, para las zonas de la cubierta con una inclinación menor a los 60° los valores de los coeficientes de forma serán los siguientes:

$$\underline{\mu_1 = 0,8}$$

$$\underline{\mu_2 = 0,2 + 10h/l = 2,39}; h = 5,7\text{m (altura cúpula)}, l = 26\text{m (anchura cúpula)}$$

$$\underline{\mu_3 = 0,5 \cdot \mu_2 = 1,2}$$

En el caso de nuestra cubierta, para cada uno de los segmentos de nuestros pórticos el ángulo es menor de 60° . Esto significa que no tendremos zonas sin carga de nieve y que la zona que abarcan las cargas de nieve de los coeficientes μ_1 , μ_2 , μ_3 es de todo el ancho de la cubierta $l = 26\text{m}$.

El coeficiente μ_1 otorga una carga de nieve constante a lo largo del ancho de la cubierta.

Sin embargo, los coeficientes μ_2 y μ_3 no son de valor constante a lo largo del ancho de la cubierta. Situando el eje de coordenadas en la equina inferior izquierda de la imagen anterior Imagen 40, se puede observar como la carga de nieve correspondiente a μ_3 tiene su máximo valor a $0,25 \cdot 26 = 6,5\text{m}$ y como la carga de nieve correspondiente a μ_2 tiene su máximo valor a $3 \cdot 0,25 \cdot 26 = 19,5\text{m}$.

s_k = valor de la carga de nieve sobre una superficie. Dicho valor es función de la localización geográfica de la instalación. En este caso la instalación se dará lugar en la provincia de Blida a la cual se le asigna la zona geográfica A en la cual el valor de carga de nieve se calcula mediante la siguiente expresión:

$$s_k = (0,07 \cdot H + 15)/100 = 0,194 \text{ KN/m}^2; H= 63\text{m (altura de la localización sobre el nivel del mar).}$$

Así pues, las tres diferentes cargas de nieve sobre la cubierta son:

$$q_{n1} = \mu_1 \cdot s_k = 0,8 \cdot 0,194 = 0,155 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{n2} = \mu_2 \cdot s_k = 2,39 \cdot 0,194 = 0,464 \text{ KN/ m}^2$$

$$q_{n3} = \mu_3 \cdot s_k = 1,2 \cdot 0,194 = 0,233 \text{ KN/ m}^2$$

6.2.3. Acciones térmicas.

Las acciones térmicas son las producidas por variaciones en la temperatura.

En el presente proyecto no se consideran acciones térmicas, ya que según el DTR no se aplican acciones térmicas en los casos donde existan juntas de dilatación o no se dispongan de elementos continuos de más de 40m de longitud. En la estructura metálica diseñada no se dispone de elementos de una longitud mayor a 40m, por esta razón no se consideran acciones térmicas.

Se trata del mismo caso que con la norma española, debido a que los dos documentos técnicos están desarrollados desde el Eurocódigo.

6.2.4. Carga de arena.

La situación geográfica de nuestra instalación se sitúa en una zona llamada Zona A, ya que la provincia de Blida está dentro de dicha zona. Exclusivamente en la zona geográfica D, tratándose de las provincias más cercanas al desierto del Sahara, se deben de calcular cargas causadas por acumulación de arena en las cubiertas. Por lo tanto, teóricamente no estará expuesta a cargas de arena.

6.3. Acciones accidentales.

6.3.1. Antecedentes sísmicos en Argelia.

El norte de Argelia está situado justamente sobre la falla entre las placas tectónicas euroasiática y africana, con el resultado de una gran actividad sísmica.

En el actual 2016 Argelia fue golpeado por 7 terremotos. El mayor terremoto en Argelia este año tuvo una magnitud de 5,2 en la escala de Richter. En 1980 se registró el mayor terremoto en Argelia con una magnitud de 7,1 en la escala de Richter, en ese mismo año se registraron un total de 46 terremotos.

Así pues, se corrobora una gran actividad sísmica a lo largo de la historia de Argelia con 1603 terremotos registrados hasta la fecha.

6.3.2. Acciones sismo.

A la hora de calcular las acciones de sismo que pueden llegar a tener lugar en la estructura en estudio hay que definir varios criterios que definen la estructura frente al método de cálculo. Dichos criterios están definidos en el Capítulo III del DTR RPA versión 2003.

Los siguientes criterios se introducen en la herramienta Metal 3D para calcular las acciones frente a sismos mediante el código informático CYPE.

- ZONA SISMICA

Según el punto 3.1 “Classification des zones sismiques” Clasificación de las zonas sísmicas, la provincia de Blida se sitúa la zona sísmica III y la zona sísmica IIIb, siendo la zona III de mayor actividad sísmica en comparación con la zona IIIb. Concretamente la población de Boufarik está situada en la **zona sísmica III** definida como una zona de actividad sísmica elevada.

La siguiente figura representa las zonas sísmicas en Argelia clasificadas en provincias.

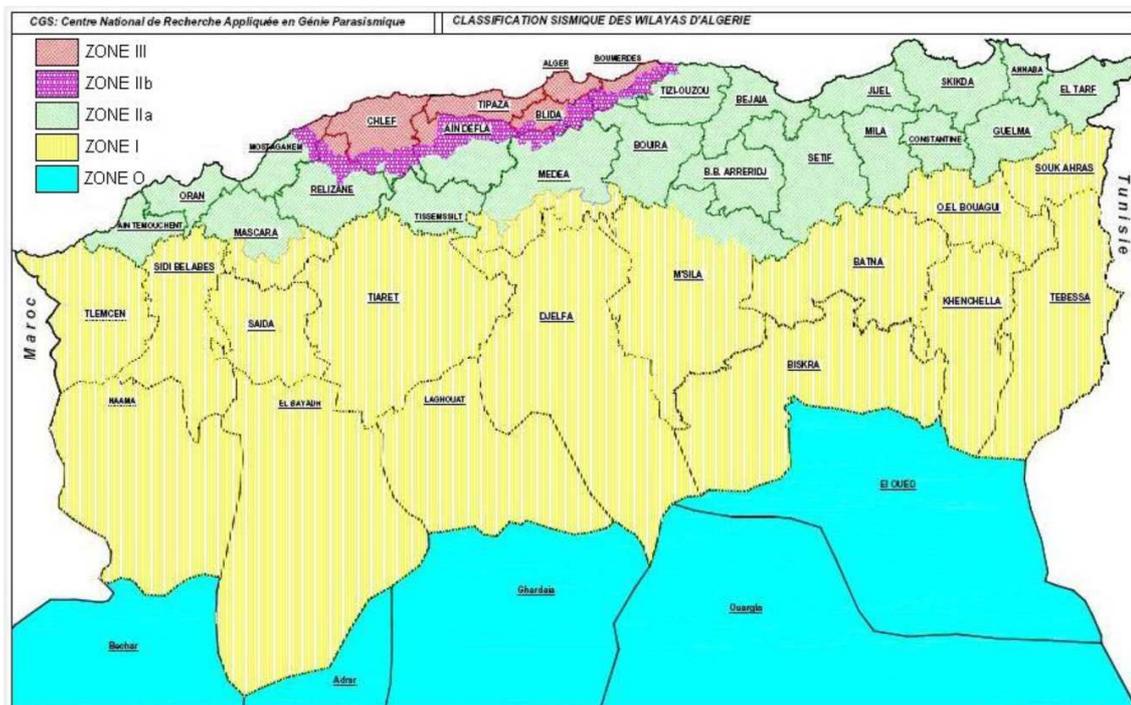


Imagen 45 Zonas sísmicas en Argelia, Figure 3.1 DTR C 2-47

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

- IMPORTANCIA DE LA OBRA

Según el punto 3.2 “Classification des ouvrages selon leur importance” Clasificación de las obras según su importancia del DTR C 2-47, la clasificación de la obra será la siguiente.

La obra se clasifica dentro del **Grupo 3**, ya que se trata de una obra de riesgo limitado para las personas, con un aforo inferior a 300 personas.

El grupo 3 se trata de la categoría con menor importancia. El resto de categorías en las cuales no se encuentra clasificada nuestra obra son:

- Grupo 1A: se trata de obra de importancia vital y destinadas a la defensa nacional como pueden ser centros gubernamentales, parques que alberguen vehículos de emergencia, hospitales, centros de salud, edificios de telecomunicaciones, centrales energéticas, etc.
- Grupo 1B: obras de gran importancia, con un aforo superior a 300 personas, carácter de uso público, como por ejemplo universidades, centros educativos, bibliotecas, etc.
- Grupo 2: se define como obras con un aforo como máximo a 300 personas (no se trata de nuestra obra), como por ejemplo aparcamientos públicos o grandes industrias.

- TIPO DE SUELO.

La clasificación del tipo de suelo viene regida por el punto 3.3 “Clasificación del sitio” Clasificación del sitio.

El firme de la población de Boufarik se define como de categoría S2 (suelo firme), ya que está formado por depósitos densos de arena y grava y/o con depósitos de arcilla consolidados de un espesor de 10 a 20m.

- CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE ARRIOSTRAMIENTO.

El punto 3.4 “Classification des systèmes de contreventement” Clasificación de los sistemas de arriostramiento del DTR C 2-47.

El propósito de la clasificación de los sistemas estructurales se refleja en las normas y los métodos de cálculo, mediante la asignación de un valor numérico R (factor de comportamiento) a cada categoría de sistema estructural.

La clasificación de los sistemas estructurales se realiza teniendo en cuenta: fiabilidad, capacidad de disipación de energía sísmica, naturaleza de los materiales, tipo de construcción, distribución de esfuerzos en la estructura y la capacidad de deformación de los elementos estructurales.

La estructura metálica estudiada absorbe por ella sola todas las cargas verticales, además en el plano zx tenemos los pórticos arriostrados con tensores en forma de cruz (Cruz San Andres) y en la cubierta tensores contra viento en X. Por lo tanto, la clasificación según los sistemas de arriostramiento es **Tipo 9a**.

- COEFICIENTE DE ACELERACION A.

Según la tabla 4.1 “*Coeficiente aceleración de zona A*”, perteneciente al punto 4.2 “*Méthode statique équivalente*” Método estático equivalente del DTR C 2-47, el valor del coeficiente de aceleración **A** es **0,18** (Grupo 3 , Zona III).

Groupe	ZONE			
	I	Ila	Ilb	III
1 A	0,15	0,25	0,30	0,40
1 B	0,12	0,20	0,25	0,30
2	0,10	0,15	0,20	0,25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

Tabla 36 Coeficientes de aceleración, Tableau 4.1. del DTR C 2-47

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

- COEFICIENTE DE SOBRECARGA β .

Según la tabla 4.5 “valeurs du coefficient de pondération β ”, perteneciente al punto 4.2 “Méthode statique équivalente” Método estático equivalente del DTR C 2-47, el valor del coeficiente de sobre carga es **0,30** (Caso 2, edificios que reciben público de forma temporal como instalaciones deportivas).

- PORCENTAJE DE AMORTIGUAMIENTO ξ (%).

Según la tabla 4.2 “Valor de ξ (%)”, perteneciente al punto 4.2 “Méthode statique équivalente” Método estático equivalente del DTR C 2-47, el valor del porcentaje de amortiguamiento es **4**.

Ya que, se trata de una estructura de acero porticada, sin ningún compartimento en su interior.

Tableau 4.2 : Valeurs de ξ (%)

Remplissage	Portiques		Voiles ou murs
	Béton armé	Acier	Béton armé/maçonnerie
Léger	6	4	10
Dense	7	5	

Tabla 37 Valor del coeficiente de amortiguamiento, Tableau 4.2 del DTR C 2-47

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

- COEFICIENTE DE COMPORTAMIENTO GLOBAL DE LA ESTRUCTURA R.

Según la tabla 4.3 “Valeurs du coefficient de comportement R”, perteneciente al punto 4.2 “Méthode statique équivalente” Método estático equivalente del DTR C 2-47, el valor del coeficiente R es **4**.

Ya que anteriormente en la clasificación de los sistemas de arriostramiento, la estructura se a definido de categoría 9a.

Dicho coeficiente define la naturaleza de la estructura. En el caso de estudio, al tratarse de una estructura autoportante ordinaria el coeficiente que le corresponde es de 4,0.

B	Acier	
7	Portiques autostables ductiles	6
8	Portiques autostables ordinaires	4
9a	Ossature contreventée par palées triangulées en X	4
9b	Ossature contreventée par palées triangulées en V	3
10a	Mixte portiques/palées triangulées en X	5
10b	Mixte portiques/palées triangulées en V	4
11	Portiques en console verticale	2

Tabla 38 Valor del coeficiente de comportamiento, Tableau 4.3 del DTR C 2-47

**Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.*

- FACTOR DE CALIDAD Q.

El factor de calidad se obtiene en función de los siguientes factores:

- Geometría de los elementos que componen la obra.
- Regulación del plan de construcción.
- Calidad del control de la construcción.

Los factores anteriores se cuantifican según la siguiente tabla que diferencia entre factores observados y no, entendiéndose como observado el control in situ en la obra.

En el caso del proyecto, se lleva un control desde el principio hasta el final, desde la compra del material de construcción con sus respectivos certificados, preparado del terreno, realización del proyecto, plan de obra y ejecución final. Así pues, al realizar el sumatorio en la expresión para obtener el factor Q (factor de calidad) se obtiene un valor de 1.

$$Q = 1 + \sum_1^6 Pq$$

'Pq' est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité 'q' est satisfait ou non.
Valeurs des pénalités Pq

Critère q	Observé	N/observé
1. Conditions minimales sur les files de contreventement	0	0.05
2. Redondance en plan	0	0.05
3. Régularité en plan	0	0.05
4. Régularité en élévation	0	0.05
5. Contrôle de la qualité des matériaux	0	0.05
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	0	0.10

Tabla 39 Tabla de factor de calidad

6.3.3. Acciones sobre el terreno.

En el presente proyecto no se considerarán posibles desplazamientos horizontales del terreno sobre la cimentación de la estructura.

7. Cálculo de la estructura metálica

La comprobación de las correas se realizará cumpliendo las tensiones y flechas máximas. Al ser una estructura formada por perfiles laminados en caliente se incluirá en dichos perfiles el efecto del pandeo lateral. Las correas se comprueban tanto para el estado límite último (E.L.U.) como para el estado límite de servicio (E.L.S.).

7.1. Descripción vinculaciones

7.1.1. Vinculaciones externas

Los pilares correspondientes con los extremos de los pórticos, a la hora de definirlos en el modelo a simular, se definirán como nudos empotrados. Realmente los extremos de

los pórticos están empotrados a los carros que dotaran de movimiento a los módulos, pero a la hora de la simulación se opta por empotrar los extremos a la cimentación.

Esta operación se realiza por facilitar la introducción de datos en el CYPE, ya que los carros que dotan de movimiento a los módulos una vez montados con las placas de arrastre y los elementos de transmisión, limitarían el movimiento longitudinal cuando sea necesario. De esta forma los carros instalados realizarían la misma función que un empotramiento del nudo a los cimientos, impidiendo los desplazamientos y los giros en cualquier dirección.

7.1.2. Vinculaciones internas

- CORREAS – VIGAS (IPE - # 160x80x6)

Todas las correas irán atornilladas a las vigas mediante placas de anclaje y pernos. Esto implica la definición como articulaciones los nudos de unión de las correas con las vigas ya que por limitaciones del diseño no se podrán instalar cartelas y las uniones deben de ser atornilladas por la facilidad del montaje en la obra.

En las uniones atornilladas se transmite un momento flector tan pequeño que la unión responde a efectos prácticos como una unión atornillada. Además de permitir la rotación necesaria para ser consideradas uniones articuladas en los cálculos teóricos.

- VIGAS – PILARES (IPE - HEB)

Las vinculaciones interiores entre las vigas y los pilares que forman los pórticos se definen como uniones rígidas. Estas vinculaciones se consideran uniones rígidas ya que la unión se realizará mediante soldadura de los perfiles a una llanta a la cual se soldará el alma y las alas de los elementos IPE y HEB. La unión entre los perfiles IPE - HEB se realiza mediante llanta ya que se usa habitualmente en nudos sometidos a compresión como es este caso.

- **PERFILES PARAMENTO LATERAL.**

Los perfiles #160x80x6 que forman los paramentos laterales se soldaran entre si y a los pilares HEB (platabanda) a lo largo de todo su contorno. Por lo tanto la vinculación interna se considera rígida, transmitiendo todos los momentos generados al pórtico debido a las cargas que afectan a la estructura.

7.2. Flecha

La estructura sufre deformaciones, que en un exceso podrían causar molestias con elementos demasiado deformados e incluso causar daños a otros elementos de la estructura, este echo flector es lo que tanto el CTE como el DTR denominan de aptitud al servicio. Por este motivo se delimita la flexión de los elementos de la estructura.

Para estructuras metálicas como la presente sometida a estudio la flexión está limitada a 1/300, esto significa lo siguiente:

La longitud desde la cabeza de los pilares hasta la cumbrera es de 13396 mm, por lo que la flecha máxima admisible será de $13396 / 300 = 44,65$ mm.

Entre las superficies de los módulos que constituyen la cubierta se ha dejado un espacio de 100mm. Esta consideración de aumentar la distancia entre módulos un 100% de la flecha máxima, es de suma importancia para evitar que las superficies de los módulos entren en contacto, aunque se llegase al valor de la flecha máxima 44,65mm, evitando daños materiales.

7.3. Desplome

El desplazamiento horizontal que pueden llegar a sufrir los pilares según los reglamentos se trata del desplazamiento total al que puede llegar el conjunto de la estructura, con un valor máximo de 1/500 de la altura de la estructura metálica.

Teniendo una altura de la estructura de 5440mm el desplome total máximo permitido es de $5440/500= 10.8$ mm.

7.4. Pandeo

Al tratarse la estructura de estudio de una geometría singular y así pues no se utiliza la herramienta del Generador de Pórticos, es necesario realizar un análisis para introducir los coeficientes de pandeo correspondientes a cada perfil.

El coeficiente de pandeo β es un valor igual o mayor a cero que pondera que define la longitud de pandeo L_k . Esta distancia L_k es la longitud que habrá entre dos puntos de inflexión consecutivos en la parra deformada para el plano definido.

La elección de los coeficientes de pandeo requiere de un complicado estudio. Hay profundos estudios acerca del cálculo de los coeficientes de pandeo y cada autor utiliza sus propios métodos llegando a la conclusión de que no se trata de una ciencia exacta.

En el presente proyecto la elección de los coeficientes de pandeo se obtendrá de las normas tanto la española CTE para su correspondiente simulación como para la norma argelina DTR. En ambos casos los coeficientes de pandeo según las condiciones de los extremos de las barras son las siguientes:

Condiciones de los extremos	Biarticulada	Biempotrada	Articulada - Empotrada	Biempotrada desplazable	Ménsula
β	1	0,5	0,7	1	2

Tabla 40 Coeficiente canónicos de pandeo

La estructura se comportará en el plano paralelo al pórtico como translacional y en el plano de los paramentos laterales y en los planos de la cubierta igualmente como translacional. La translacionalidad de la estructura en los planos que la definen se debe a que no existen más de dos pórticos unidos que garanticen la intranslacionalidad en el plano lateral. Aunque la estructura se encuentra arriostrada tanto en los paramentos laterales como en la cubierta no es suficiente para garantizar la intranslacionalidad de dichos planos, ya que la existencia solamente de dos pórticos unidos no es suficiente. Es importante definir los diferentes planos de la estructura en translacionales e intranslacionales ya que en los planos translacionales el pandeo resulta más prejudicial.

Los coeficientes de pandeo se deben de definir tanto en el plano xy (plano débil, corresponde con el plano paralelo a las alas del perfil) como en el plano xz (plano fuerte, corresponde con el plano paralelo al alma del perfil).

7.4.1. Coeficiente pandeo en pilares

- Plano xy. El pandeo de los pilares en el plano xy se define mediante el coeficiente de pandeo β_{xy} con un valor de 2, considerándose una barra empotrada en su base y en voladizo en su cabeza. Se considera una barra en voladizo ya que en el plano xy no se garantiza la ausencia de desplazamiento a lo largo del eje y.

Si los pórticos estuvieran unidos como en una nave clásica, el coeficiente de pandeo sería de 0,7, ya que la estructura se consideraría intranslacional en el plano xy y no había desplazamiento en la cabeza del pilar. Sin embargo, en la configuración existente, no es posible garantizar la ausencia de desplazamientos en cabeza de pilar del plano xy, y por tanto siendo conservador, se adopta un coeficiente de pandeo $\beta_{xy} = 2$.

- Plano xz. El pandeo para el plano xz se define mediante el coeficiente de pandeo β_{xz} . Dicho plano en el cual se contienen los pórticos se adopta un coeficiente de pandeo intermedio entre viga biarticulada y empotrada libre de valor $\beta_{xz} = 1,4$ habitual en este tipo de estructura para planos xz.

7.4.2. Coeficiente pandeo en vigas pórticos

- Plano xy: El pandeo de las vigas en el plano xy se define mediante la longitud de pandeo L_{xy} . Dicha longitud se trata de la distancia entre elementos que arriostran el perfil en el plano xy. Los elementos que arriostran el perfil en su plano xz son las correas, limitando el pandeo del perfil entre ellas. Longitud entre correas, 1,1m.

$$L_{xy} = 1,1 \text{ m}$$

- Plano xz: El pandeo para el plano xz se define mediante el coeficiente de pandeo β_{xz} . Al tratarse de uniones articuladas, se considera que el elemento puede pandear a lo largo de toda su longitud. Así pues, se considera una viga biapoyada correspondiéndole un coeficiente $\beta_{xz} = 1$.

7.4.3. Coeficiente pandeo en elementos longitudinales

Los coeficientes de pandeo seleccionado en todos los elementos longitudinales (correas, bastidores de tirantes, perfiles del cerramiento lateral) son los siguientes:

- Plano xy: $\beta_{xy} = 1$, el perfil se articula ya que, aunque el plano de inercia débil coincide con el cerramiento, al ser este de policarbonato celular, no ofrece ninguna resistencia para minimizar el pandeo, considerando una barra biapoyada en el plano xy.
- Plano xz: $\beta_{xz} = 1$, el perfil se articula ya que no se debe de empotrar un perfil al alma de otro perfil ya que el perfil al cual se empotraría trabajaría a torsión, algo totalmente desaconsejable. Por lo tanto, se define como una barra biapoyada en el plano xz.

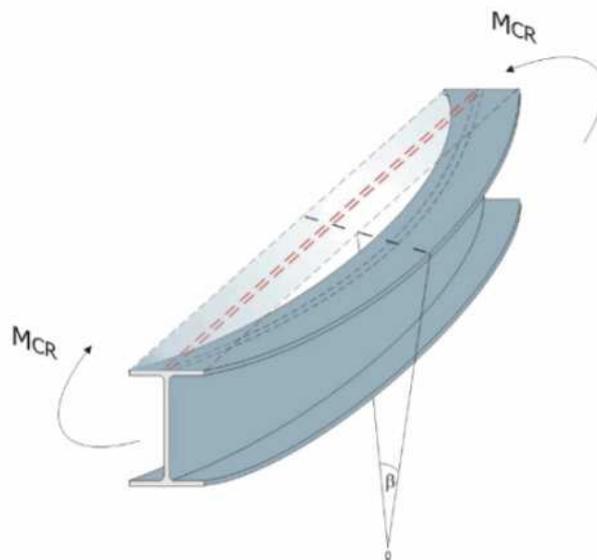


Tabla 41 Pandeo viga

7.4.4. Pandeo lateral

El pandeo lateral es un fenómeno que aparece en perfiles en doble T, ya que suelen tener una inercia mucho mayor en uno de sus planos principales que en el otro.

Cuando un perfil es sometido a flexión en la recta del plano de mayor rigidez (alma de la viga), antes de colapsar en la dirección de la carga lo hace en la transversal, plano de menor rigidez (alas de la viga), debido a su flexibilidad.

El pandeo lateral va acompañado de torsión, ya que al someter una viga a una fuerza en la dirección del plano del alma el ala superior queda comprimida, motivo por el cual puede pandear lateralmente en el plano perpendicular al plano del alma.

De manera análoga ocurre con los pilares sometidos a compresión. Por lo tanto, se define pandeo lateral en las vigas pórticos (IPE) y en los pilares de los pórticos (HEB).

Tanto en el ala superior como en el ala inferior de los perfiles se introducirá el mismo valor de longitud de pandeo lateral, ya que los elementos que arriostran los perfiles se unen mediante placas de anclaje que sitúan el eje del elemento arriostraste a la misma distancia del ala superior que del ala inferior.

- Vigas pórticos (IPE). Tanto en el ala superior como en el ala inferior se introducirá la distancia entre arriostramientos, ya que definirá la longitud del segmento de la viga IPE sometida a pandeo lateral. Dicha distancia se denomina L_k de valor 1,10m ya que se trata de la distancia entre las correas de la cubierta que arriostran lateralmente los módulos.
- Pilares pórticos (HEB). Los tirantes juntamente con sus bastidores limitan la longitud de la barra sometida a deformación de pandeo. En este caso la distancia de pandeo L_k a introducir es la distancia entre los bastidores de los tirantes laterales (Cruz San Andrés). Dicha distancia será diferente para los pilares de cada módulo, ya que los paramentos laterales son de diferente tamaño en cada módulo.

Las longitudes L_k para cada módulo son las siguientes (unidades m):

- Módulo 1: L_k (ala superior) = 1,632; L_k (ala inferior) = 1,632.
- Módulo 2: L_k (ala superior) = 1,356; L_k (ala inferior) = 1,356.
- Módulo 3: L_k (ala superior) = 1,079; L_k (ala inferior) = 1,079.
- Módulo 4: L_k (ala superior) = 0,803; L_k (ala inferior) = 0,803.
- Módulo 5: L_k (ala superior) = 0,527; L_k (ala inferior) = 0,527.
- Módulo 6: L_k (ala superior) = 0,250; L_k (ala inferior) = 0,250.
- Módulo 7: L_k (ala superior) = 0,329; L_k (ala inferior) = 0,329.

7.4.5. Coeficiente de momento equivalente

Cm	Pilares HEB	Vigas pórticos IPE	Elementos longitudinales
Plano xy	1	1	1
Plano xz	0,9	1	1

Tabla 42 Coeficientes de momento equivalente

7.4.6. Coeficiente de momento equivalente, pandeo lateral

Cm	Pilares HEB	Vigas pórticos IPE	Elementos longitudinales
Ala superior	1	1	1
Ala inferior	1	1	1

Tabla 43 Coeficiente de momento equivalente en pandeo lateral

7.4.7. Factor de modificación del momento crítico

	Pilares HEB	Vigas pórticos IPE	Elementos longitudinales
C_1	1	1	1

Tabla 44 Factor de modificación del momento crítico

Capítulo VIII: Resultados

1. Resultados bajo normativa CTE (normativa española)
2. Resultados bajo normativa DTR (normativa argelina)
3. Análisis estructura refuerzo
4. Diferencias en los resultados de las diferentes normativas

1. Resultados bajo normativa CTE (normativa española)

1.1 Análisis de la estructura en su conjunto

1.1.1 Desplazamientos

A continuación, se muestran los desplazamientos a los que está sometida la estructura bajo la combinación de hipótesis.

Se muestran los resultados de las combinaciones de hipótesis más agresivas. Las hipótesis que se han comprobado que resultan más agresivas y por lo tanto son la que terminan por dimensionar la estructura son:

- PP + Cubierta + V (0º) H.1.1. P

Se puede observar en la cubierta como las zonas desplazadas respecto su posición original coinciden claramente con las zonas de presión y succión definidas en el documento técnico.

Como se observa la zona con presión exterior A, la deformación es menor ya que es atenuada por la presión interior existente. Sin embargo, en las zonas con succión exteriores B y C, la deformación es agravada a causa de la presión en el interior.

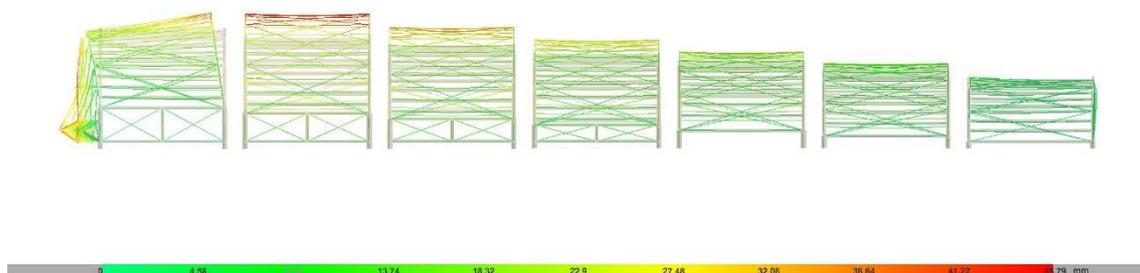


Imagen 46 Deformaciones estructura perfil

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,79	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

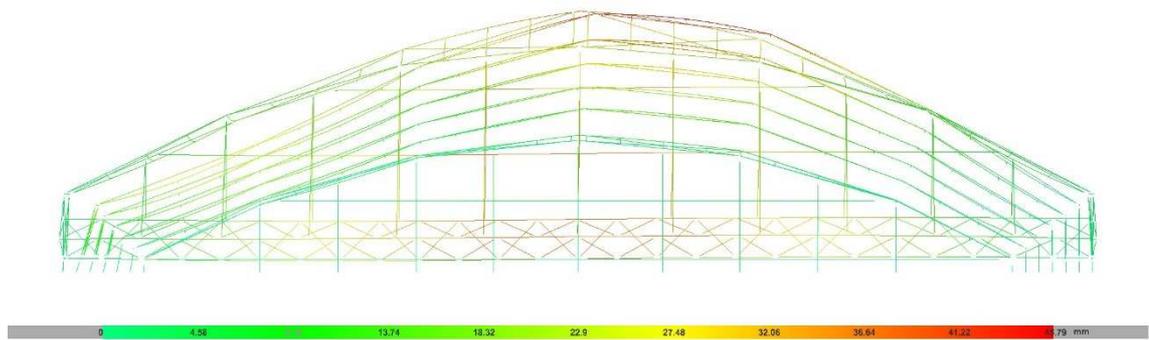


Imagen 47 Deformaciones estructura alzado

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,79	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

Como se observa la zona con presión exterior A, la deformación es menor ya que es atenuada por la presión interior existente. Sin embargo, en las zonas con succión exteriores B y C, la deformación es agravada a causa de la presión en el interior.

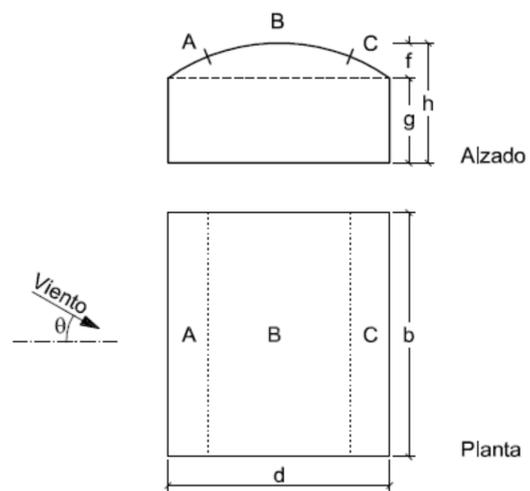


Imagen 48 Zonas de viento en cubierta cilíndrica

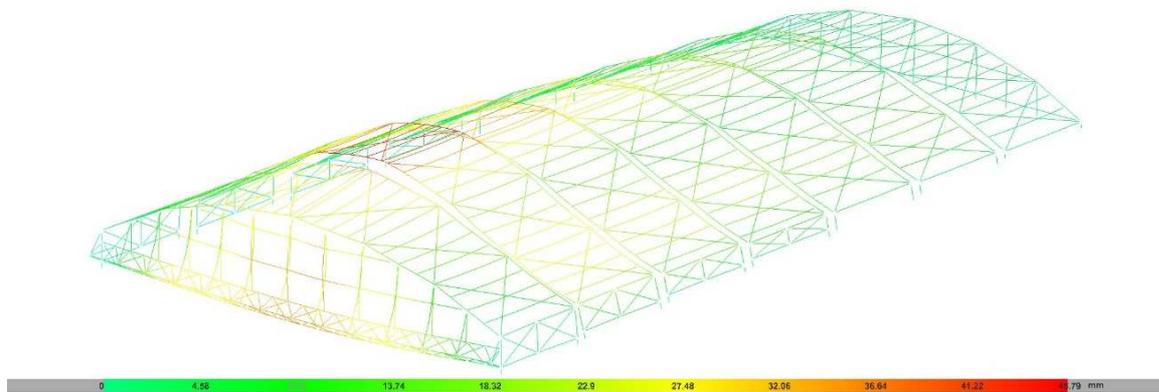


Imagen 49 Deformaciones estructura vista cónica

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,79	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

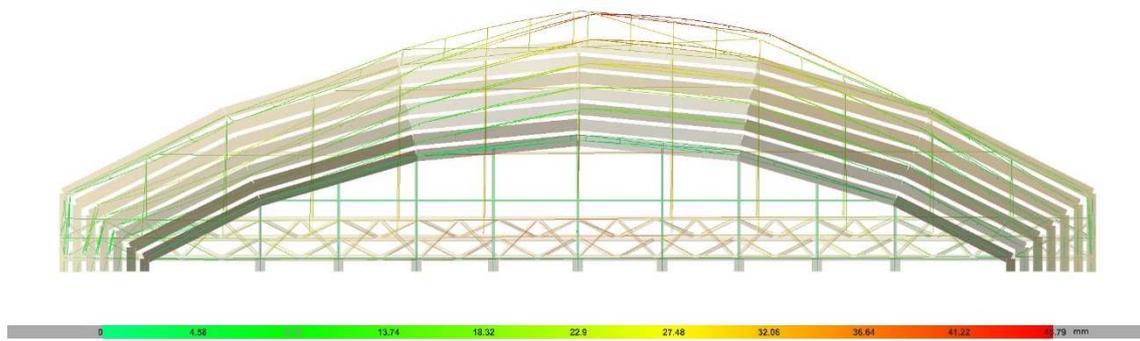


Imagen 50 Deformación estructura alzado

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,79	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

- PP + Cubierta + V(90º) H.1.2. S

Se observa como la presión en el cerramiento frontal del módulo 1 , unida con la succión en el interior llegan a desplazar la estructura triangular de refuerzo un máximo de 43,7mm en algunos puntos.

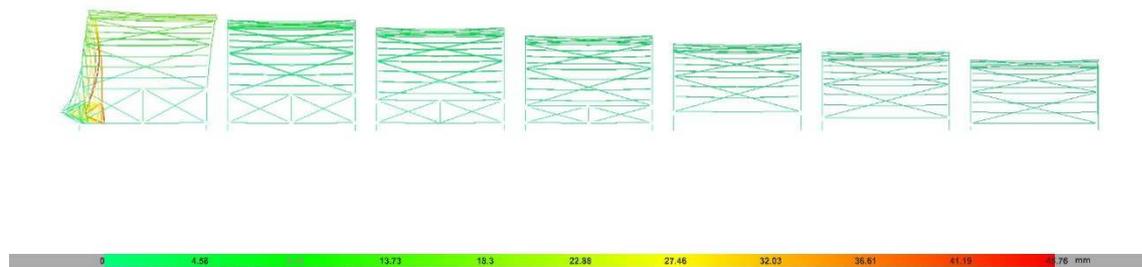


Imagen 51 Deformaciones estructura perfil

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,76	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

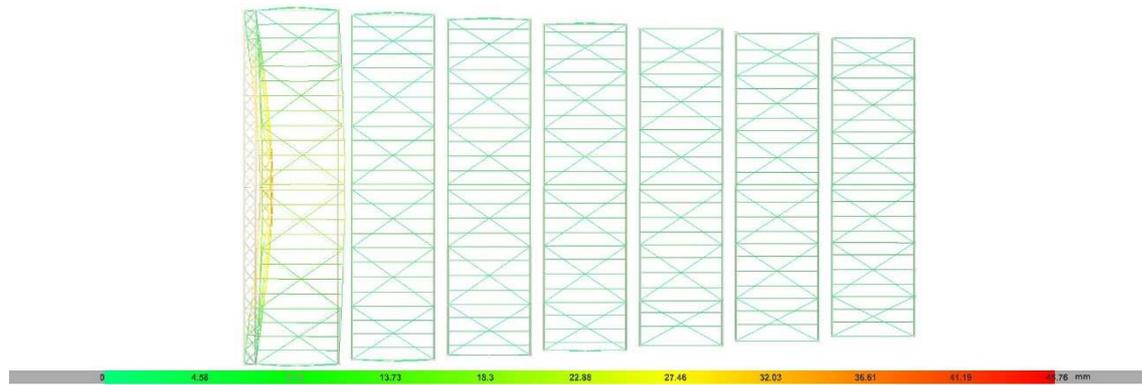


Imagen 52 Deformaciones estructura planta

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,76	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

- PP + Cubierta + V(180º) H.1.1. P

Los efectos producidos en la estructura a causa de las hipótesis combinadas son los mismos que en la hipotesia anteriormente explicada PP + Cubierta + V (0º) H.1.1. P.

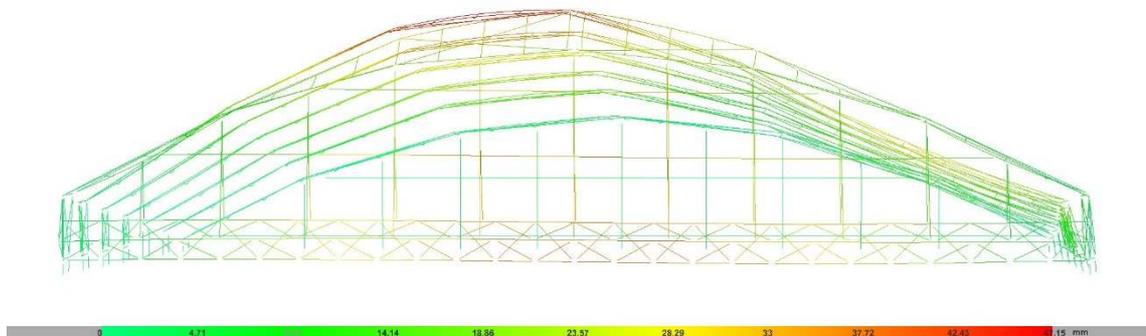


Imagen 53 Deformaciones estructura alzado

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,79	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

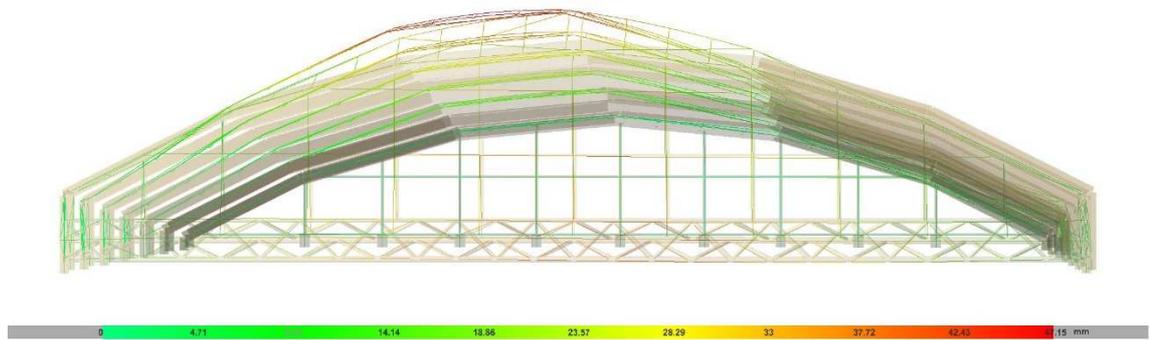


Imagen 54 Deformaciones estructura alzado

0	4,71	9,43	14,14	18,86	23,57	28,29	33	37,72	42,43	47,15	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	-------	-------	----	-------	-------	-------	-------------

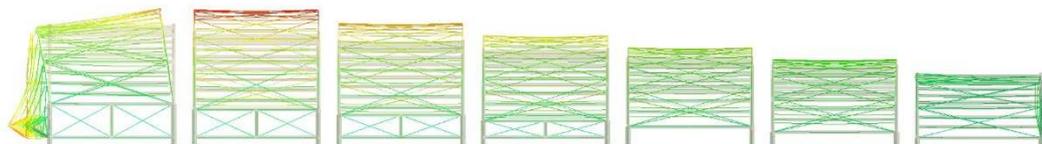


Imagen 55 Deformaciones estructura perfil

0	4,71	9,43	14,14	18,86	23,57	28,29	33	37,72	42,43	47,15	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	-------	-------	----	-------	-------	-------	-------------

- PP + Cubierta + V(270º) H.1.2. P

Se observa como el viento frontal combinado con presión en el interior de la estructura causan un levantamiento de la cubierta de todos los módulos, agravando este efecto en los módulos de mayor tamaño como los nº1, nº2 y nº3. Por otro lado, los desplazamientos más importantes se dan en los frontales, tanto del módulo nº1 como del nº2, siendo los más vulnerables frente a vientos frontales.

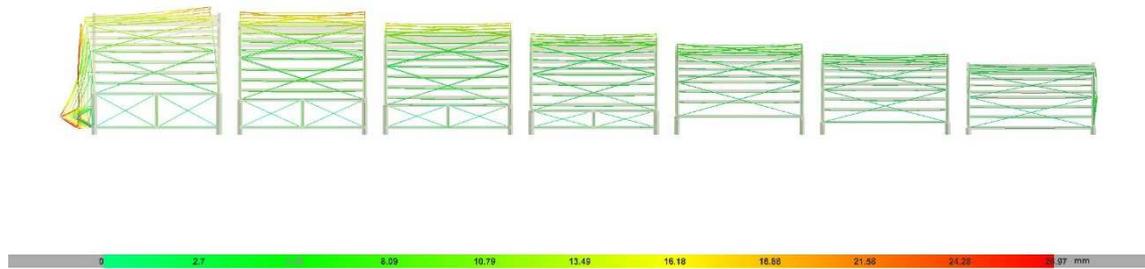


Imagen 56 Deformaciones estructura perfil

0	2,7	5,35	8,09	10,79	13,49	16,18	18,88	21,58	24,28	26,97	Unidades mm
---	-----	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

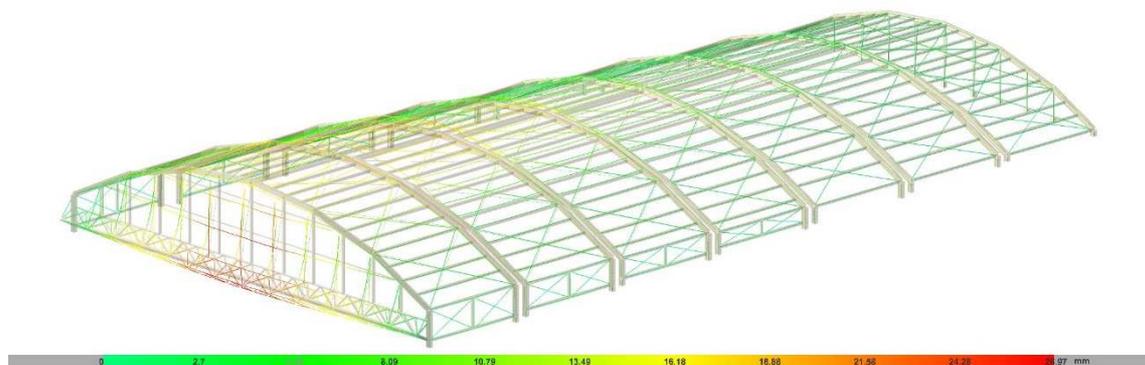


Imagen 57 Deformaciones estructura vista cónica

0	2,7	5,35	8,09	10,79	13,49	16,18	18,88	21,58	24,28	26,97	Unidades mm
---	-----	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

- PP + Cubierta + VM5 (0ª), equivalente a PP + Cubierta + VM4 (180ª)

En la siguiente combinación de hipótesis se observa como el viento lateral actuando sobre la estructura modelizada como una marquesina causa grandes desplazamientos llegando a 85mm, los mayores desplazamientos teniendo en cuenta todas las posibles combinaciones de hipótesis.

Esto ocurre porque el viento lateral sobre la superficie de la cubierta causa succión exterior en un lado y presión exterior en el lado contrario. Por otro lado, el aire que se cuela por debajo de la marquesina causa succión interior en la zona de la cubierta donde

se da presión exterior y provocando presión interior en la zona de la cubierta donde se da succión exterior.

Esta combinación de succión y presión es la más desfavorable para la cubierta ya que sus valores de fuerza superficial terminan sumándose. Si además de la suma de succión y presión, tenemos en cuenta que este fenómeno sucede en el plano yz que coincide con el plano menos arriostrado al tratarse de una nave diáfana, se obtiene la combinación de hipótesis que limita la estructura.

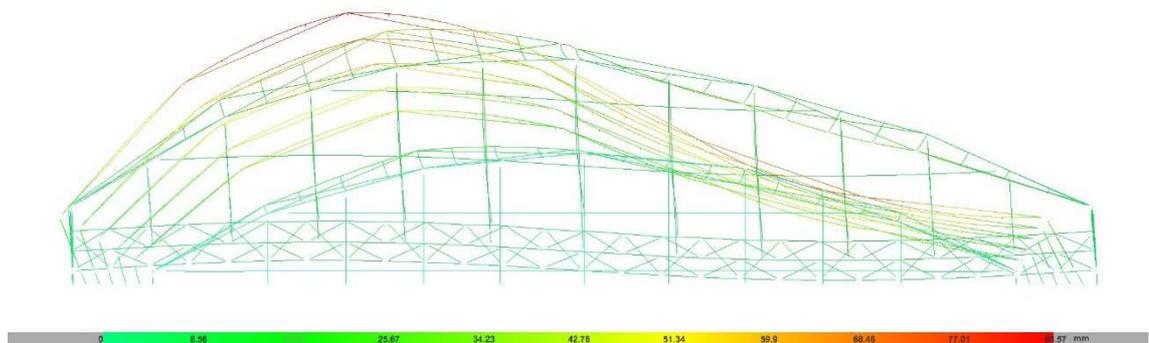


Imagen 58 Deformaciones estructura alzado

0	8,56	18,15	25,67	34,23	42,78	51,34	59,9	68,46	77,01	85,57	Unidades mm
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------------

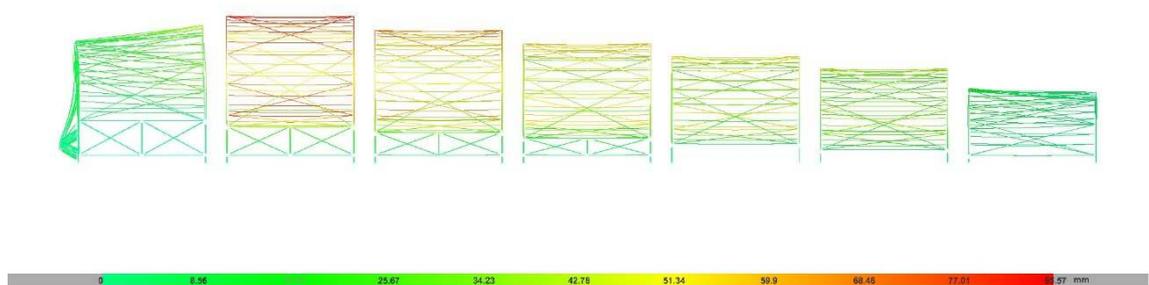


Imagen 59 Deformaciones estructura perfil

0	8,56	18,15	25,67	34,23	42,78	51,34	59,9	68,46	77,01	85,57	Unidades mm
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------------

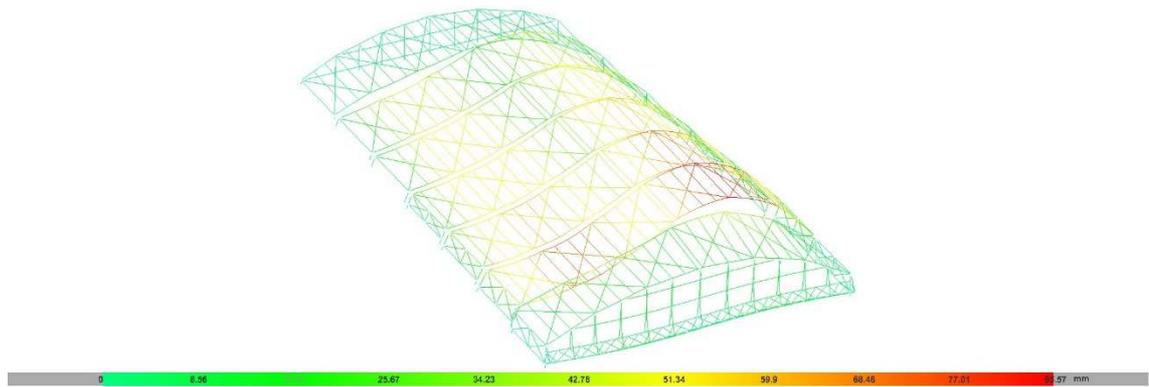


Imagen 60 Deformaciones estructuras vista cónica

0	8,56	18,15	25,67	34,23	42,78	51,34	59,9	68,46	77,01	85,57	Unidades mm
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------------

- PP + Cubierta + VM6 (90º, 270º)

Esta combinación de viento da lugar a los resultados de la acción del viento frontal actuando sobre una marquesina, produciendo un levantamiento simétrico en toda la superficie de la cubierta. El viento frontal que pasa por encima de la cubierta causa succión exterior que juntamente con el viento que se cuela por debajo de la marquesina causando presión en el interior, desplazan la cubierta hacia arriba.

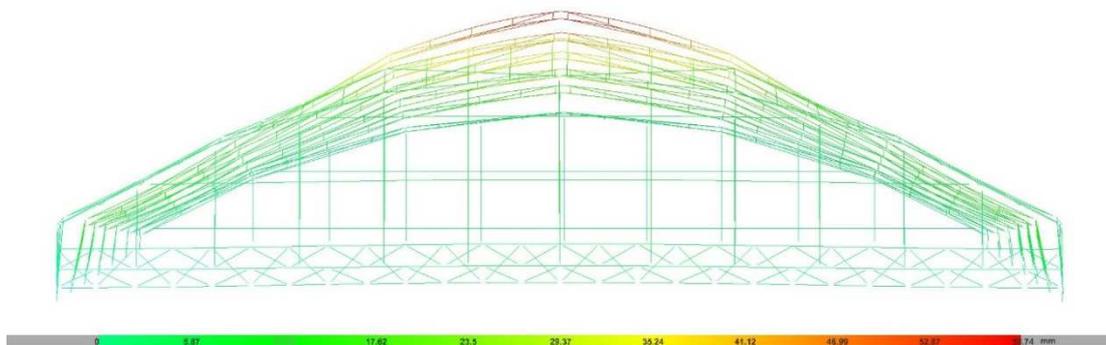


Imagen 61 Deformaciones alzado

0	5,87	10,25	17,62	23,5	29,37	35,24	41,12	46,99	52,87	58,74	Unidades mm
---	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

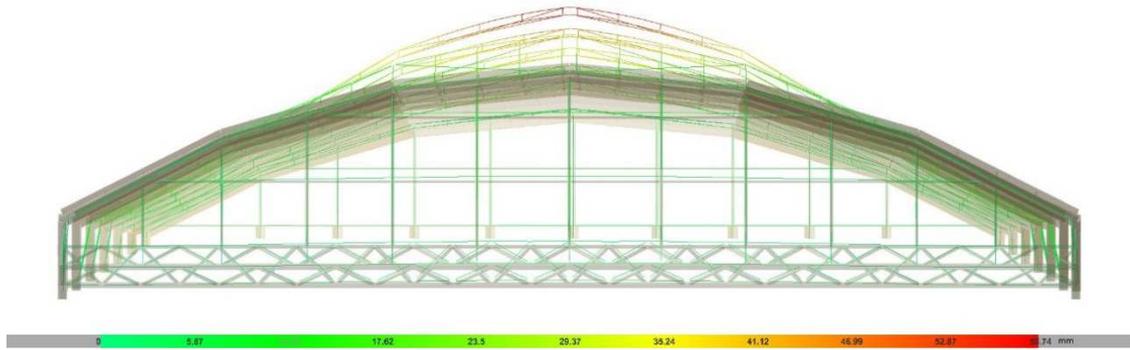


Imagen 62 Deformaciones alzado con estructura inicial

0	5,87	10,25	17,62	23,5	29,37	35,24	41,12	46,99	52,87	58,74	Unidades mm
---	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

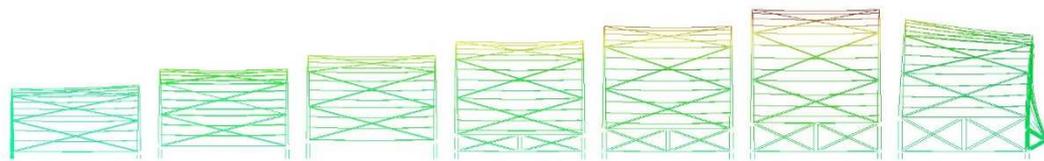


Imagen 63 Imagen deformación perfil

0	5,87	10,25	17,62	23,5	29,37	35,24	41,12	46,99	52,87	58,74	Unidades mm
---	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

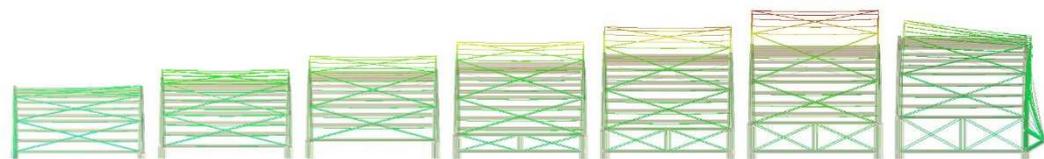


Imagen 64 Deformación perfil con estructura inicial

0	5,87	10,25	17,62	23,5	29,37	35,24	41,12	46,99	52,87	58,74	Unidades mm
---	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

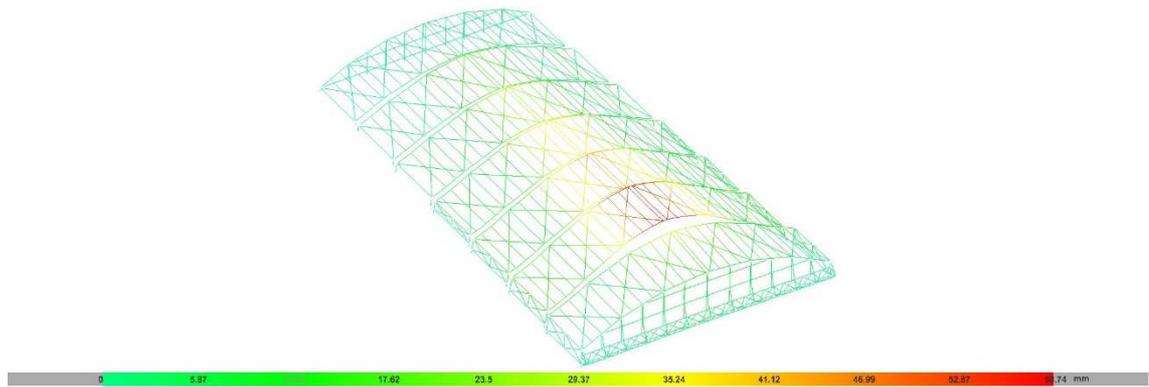


Imagen 65 Deformacion vista cónica

0	5,87	10,25	17,62	23,5	29,37	35,24	41,12	46,99	52,87	58,74	Unidades mm
---	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

El factor de escala en las imágenes es de un 30% esto significa que los desplazamientos reales que se alcanzan en la estructura metálica se han aumentado un 30% gráficamente para poder apreciarlos.

1.1.2 Aprovechamiento

Como se puede comprobar en la siguiente imagen, todos los elementos de la estructura están asegurados en más de un 30% por debajo del máximo aprovechamiento. Dejando suficiente margen de seguridad.

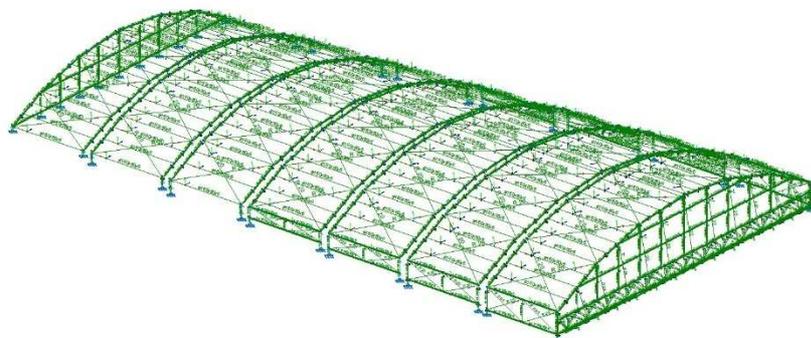


Imagen 66 Estructura aprovechamiento

1.2 Comprobaciones ELU detallado de pórticos relevantes

Los pórticos más relevantes son los correspondientes a los pórticos frontales de los módulos 1 y 7 ya que se tratan de los módulos situados a los extremos, soportando la mayor parte de la carga del viento frontal. También se analizarán los pórticos del módulo 2, ya que se trata del siguiente pórtico más grande y por lo tanto del más débil dentro de los módulos intermedios. A pesar de que los módulos intermedios no deben de soportar cargas de vientos frontales, están sometidos a grandes esfuerzos, ya que ninguno de sus dos pórticos está arriostrado en el plano xy, al contrario que sucede en los pórticos extremos 1 y 7 que sí lo están en uno de sus pórticos.

Por simetría en los planos, se analizará medio pórtico de los siguientes módulos.

Se han realizado las comprobaciones E.L.U (Estados Límite Último) de todos los elementos que componen la estructura metálica comprobando que todos las cumplen. Dada la extensión de las comprobaciones en los anexos se incluyen las comprobaciones E.L.U. de los elementos sometidos a un mayor esfuerzo.

1.2.1 Módulo nº1

Las comprobaciones E.L.U. de los elementos del módulo nº1 se incluyen en el ANEXO I.

1.2.2 Módulo nº2

Las comprobaciones E.L.U. de los elementos del módulo nº2 se incluyen en el ANEXO II.

1.2.3 Modulo nº7

Las comprobaciones E.L.U. de los elementos del módulo nº7 se incluyen en el ANEXO III.

1.3 Reacciones módulo 1.

Se analizan las reacciones en los nudos de las bases de los pilares del módulo 1 ya que al ser un módulo extremo y ser el módulo de mayor tamaño tendrá las mayores reacciones. El análisis de las reacciones en los nudos de las bases de los pilares del módulo 1 se utilizará para dimensionar los rodamientos necesarios para el carro, como para dimensionar el forjado sobre el cual se instala la estructura metálica.

En las siguientes imágenes se muestran los valores máximos y mínimos de las reacciones en los nudos exteriores del módulo 1, correspondientes a las envolventes de las combinaciones de equilibrio de cimentación.

N203 (-544.644, -1.86, -0.01) Rx: (-8.712, 9.265) t Ry: (-17.688, 20.207) t Rz: (-13.177, 26.424) t Mx: (-19.849, 17.456) t-m My: (-4.241, 4.915) t-m Mz: (-8.685, 8.279) t-m	N188 (-538.644, -1.86, -0.01) Rx: (-2.942, 2.995) t Ry: (-20.033, 20.473) t Rz: (-14.145, 16.960) t Mx: (-27.200, 27.989) t-m My: (-2.496, 2.795) t-m Mz: (-2.030, 1.183) t-m
N239 (-538.644, 24.112, -0.01) Rx: (-2.926, 2.882) t Ry: (-20.470, 20.013) t Rz: (-14.152, 16.969) t Mx: (-27.926, 27.142) t-m My: (-2.486, 2.734) t-m Mz: (-0.971, 1.615) t-m	N224 (-544.644, 24.112, -0.01) Rx: (-8.735, 9.347) t Ry: (-20.210, 18.526) t Rz: (-13.185, 26.435) t Mx: (-17.343, 19.658) t-m My: (-4.227, 4.938) t-m Mz: (-8.433, 8.899) t-m

Imagen 67 Reacciones módulo 1 CTE

2. Resultados bajo normativa DTR (normativa argelina)

Al igual que en la estructura bajo legislación española (CTE) en la estructura bajo legislación argelina (DTR) sufrirá la misma carga pero en un porcentaje menor a causa de ser una legislación más permisiva en el reglamento de viento y nieve DTR c 2-47.

2.1 Análisis de la estructura en su conjunto

2.1.1 Desplazamientos

A continuación, se muestran los desplazamientos a los que está sometida la estructura bajo la combinación de hipótesis.

Al igual que en la estructura bajo legislación española (CTE) en la estructura bajo legislación argelina (DTR) sufrirá la misma carga, pero en un porcentaje menor a causa de ser una legislación más permisiva en el reglamento de viento y nieve DTR c 2-47.

Se muestran los resultados de las combinaciones de hipótesis más agresivas. Las hipótesis que se han comprobado que resultan más agresivas y por lo tanto son la que terminan por dimensionar la estructura son:

- PP + Cubierta + V (0º) H.1.1. P

Se puede observar en la cubierta como las zonas desplazadas respecto su posición original coinciden claramente con las zonas de presión y succión definidas en el documento técnico.

Como se observa la zona con presión exterior A, la deformación es menor ya que es atenuada por la presión interior existente. Sin embargo, en las zonas con succión exteriores B y C, la deformación es agravada a causa de la presión en el interior

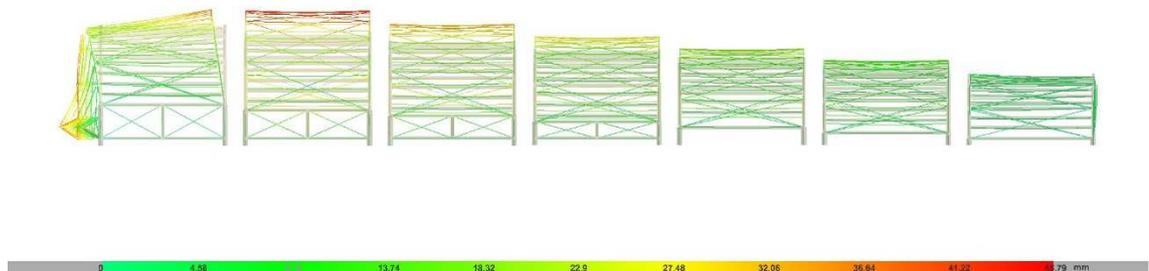


Imagen 68 Deformaciones estructura perfil

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,79	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

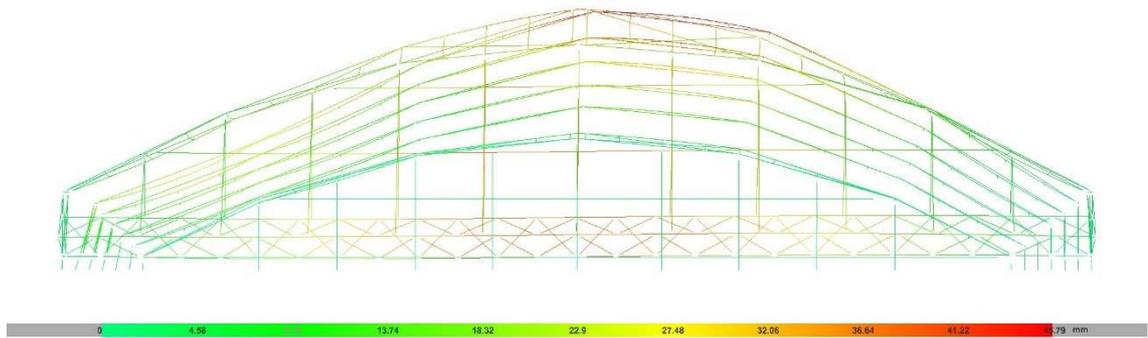


Imagen 69 Deformaciones estructura alzado

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,79	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

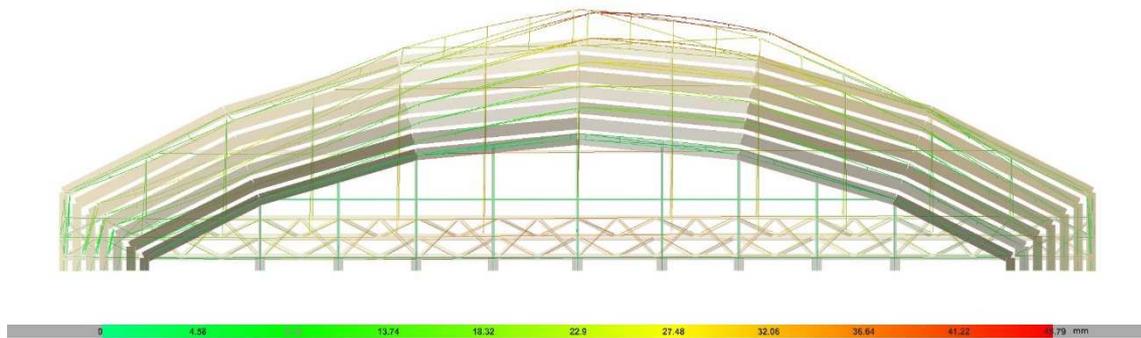


Imagen 70 Deformaciones alzado con estructura inicial

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,79	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

Como se observa la zona con presión exterior A, la deformación es menor ya que es atenuada por la presión interior existente. Sin embargo, en las zonas con succión exteriores B y C, la deformación es agravada a causa de la presión en el interior.

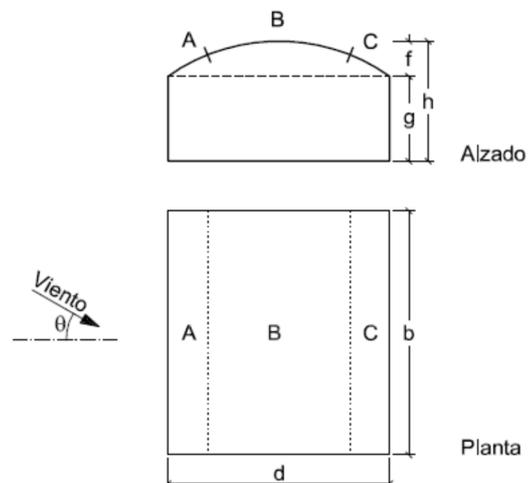


Imagen 71 Zonas viento sobre cubierta cilíndrica

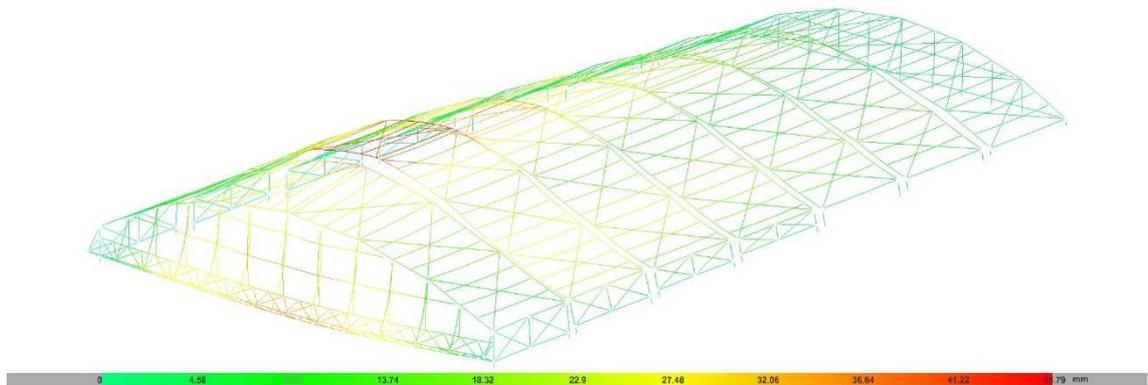


Imagen 72 Deformaciones vista cónica

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,79	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

- PP + Cubierta + V(90º) H.1.2. S

Se observa como la presión en el cerramiento frontal del módulo 1, unida con la succión en el interior llegan a desplazar la estructura triangular de refuerzo un máximo de 35,7mm en algunos puntos.

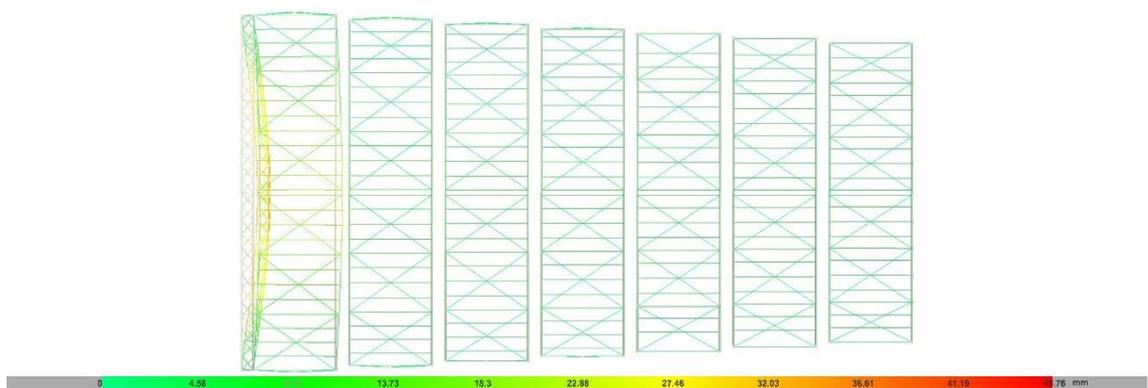


Imagen 73 Deformaciones estructura planta

0	4,58	9,16	13,74	18,32	22,9	27,48	32,06	36,64	41,22	45,79	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

- PP + Cubierta + V(180º) H.1.1. P

Los efectos producidos en la estructura a causa de las hipótesis combinadas son los mismos que en la hipótesis anteriormente explicada PP + Cubierta + V (0º) H.1.1. P.

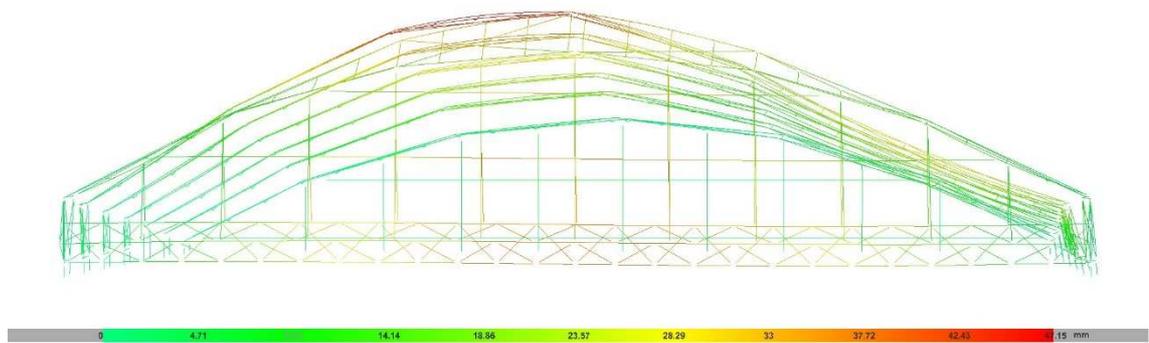


Imagen 74 Deformaciones alzado

0	4,71	9,43	14,14	18,86	23,57	28,29	33	37,72	42,43	47,15	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	-------	-------	----	-------	-------	-------	-------------

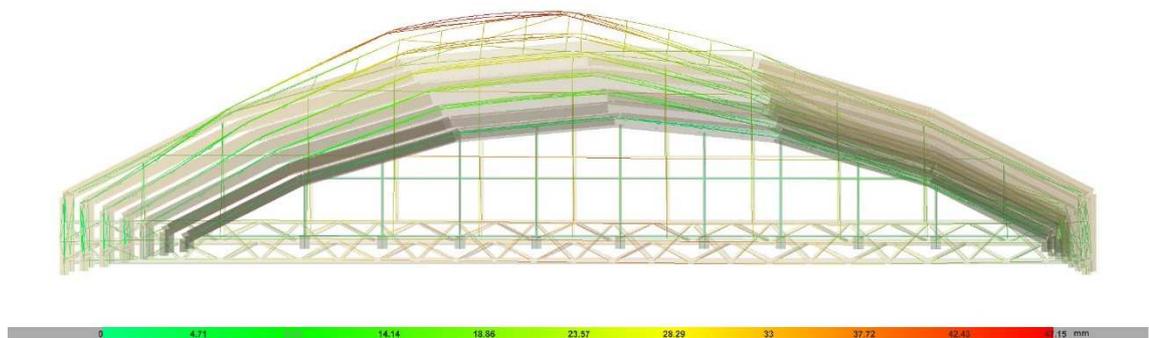


Imagen 75 Deformaciones alzado con estructura inicial

0	4,71	9,43	14,14	18,86	23,57	28,29	33	37,72	42,43	47,15	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	-------	-------	----	-------	-------	-------	-------------

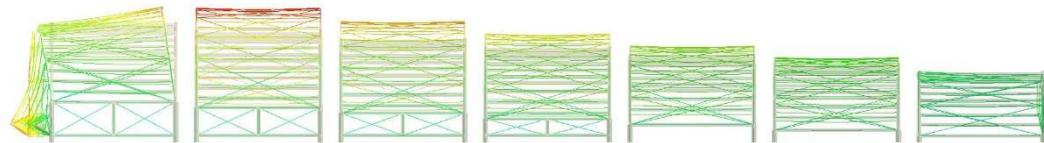


Imagen 76 Deformaciones perfil estructura inicial

0	4,71	9,43	14,14	18,86	23,57	28,29	33	37,72	42,43	47,15	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	-------	-------	----	-------	-------	-------	-------------

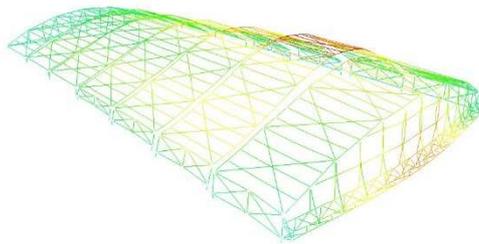


Imagen 77 Deformaciones vista cónica

0	4,71	9,43	14,14	18,86	23,57	28,29	33	37,72	42,43	47,15	Unidades mm
---	------	------	-------	-------	-------	-------	----	-------	-------	-------	-------------

- PP + Cubierta + V(270º) H.1.2. P

Se observa como el viento frontal combinado con presión en el interior de la estructura causan un levantamiento de la cubierta de todos los módulos, agravando este efecto en los módulos de mayor tamaño como los nº1, nº2 y nº3. Por otro lado, los desplazamientos más importantes se dan en los frontales, tanto del módulo nº1 como del nº2, siendo los más vulnerables frente a vientos frontales.

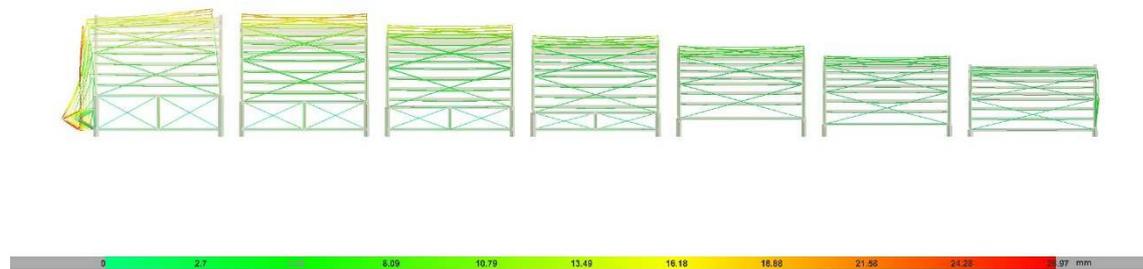


Imagen 78 Deformaciones perfil con estructura inicial

0	2,7	4,39	8,09	10,79	13,49	16,18	18,88	21,58	24,28	26,97	Unidades mm
---	-----	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

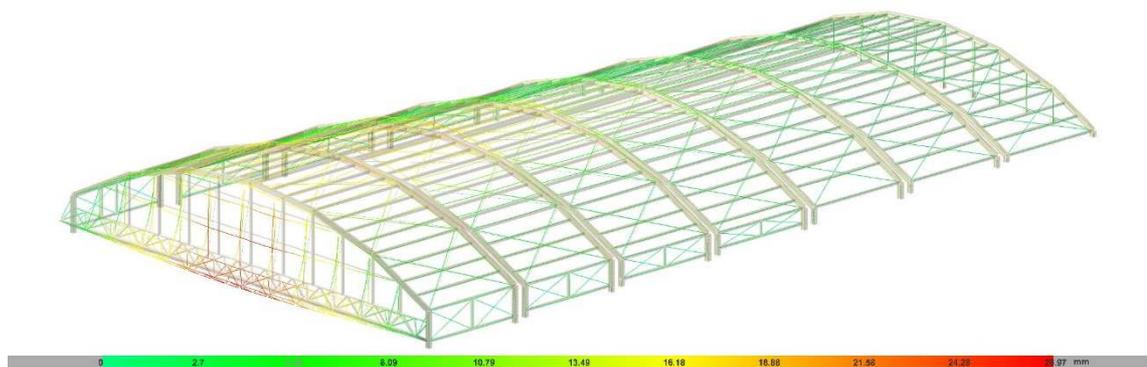


Imagen 79 Deformaciones vista cónica con estructura inicial

0	2,7	4,39	8,09	10,79	13,49	16,18	18,88	21,58	24,28	26,97	Unidades mm
---	-----	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

- PP + Cubierta + VM5 (0ª), equivalente a PP + Cubierta + VM4 (180ª)

En la siguiente combinación de hipótesis se observa como el viento lateral actuando sobre la estructura modelizada como una marquesina causa grandes desplazamientos llegando a 77 mm, los mayores desplazamientos teniendo en cuenta todas las posibles combinaciones de hipótesis.

Esto ocurre porque el viento lateral sobre la superficie de la cubierta causa succión exterior en un lado y presión exterior en el lado contrario. Por otro lado el, aire que se cuela por debajo de la marquesina causa succion interior en la zona de la cubierta donde

se da presión exterior y provocando presión interior en la zona de la cubierta donde se da succión exterior.

Esta combinación de succión y presión es la más desfavorable para la cubierta ya que sus valores de fuerza superficial terminan sumándose. Si además de la suma de succión y presión, tenemos en cuenta que este fenómeno sucede en el plano yz que coincide con el plano menos arriostrado al tratarse de una nave diáfana, se obtiene la combinación de hipótesis que limita la estructura.

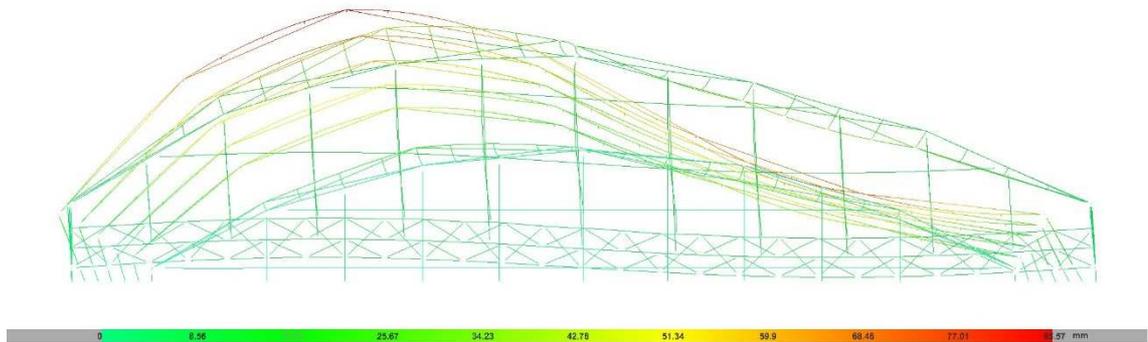


Imagen 80 Deformaciones alzado

0	8,56	15,11	25,67	34,23	42,78	51,34	59,9	68,48	77,01	85,57	Unidades mm
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------------

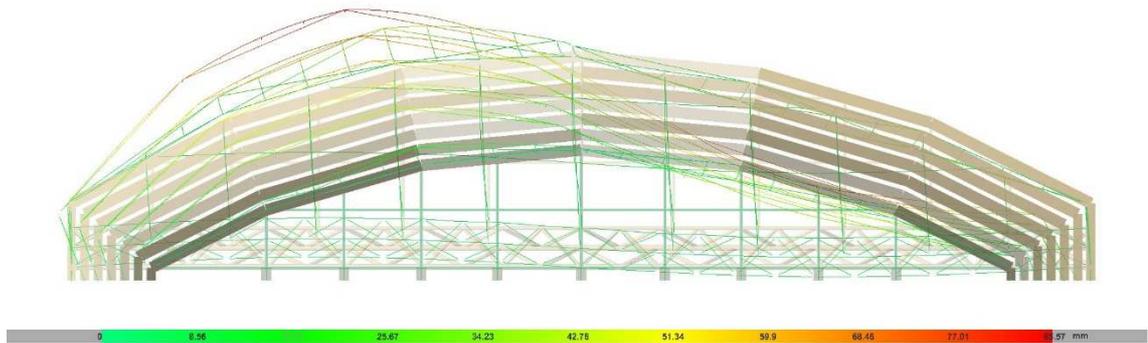


Imagen 81 Deformaciones alzado con estructura inicial

0	8,56	15,11	25,67	34,23	42,78	51,34	59,9	68,48	77,01	85,57	Unidades mm
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------------

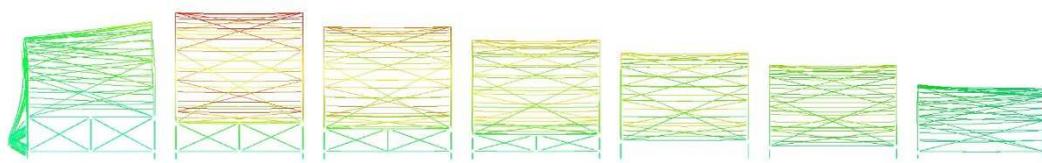


Imagen 82 Deformaciones perfil

0	8,56	15,11	25,67	34,23	42,78	51,34	59,9	68,48	77,01	85,57	Unidades mm
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------------

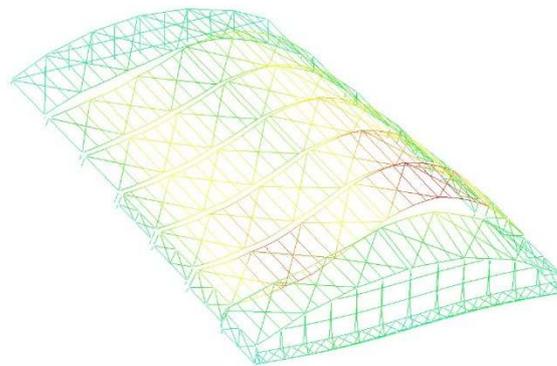


Imagen 83 Deformaciones vista cónica

0	8,56	15,11	25,67	34,23	42,78	51,34	59,9	68,48	77,01	85,57	Unidades mm
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------------

- PP + Cubierta + VM6 (90º, 270º)

Esta combinación de viento da lugar a los resultados de la acción del viento frontal actuando sobre una marquesina, produciendo un levantamiento simétrico en toda la superficie de la cubierta. El viento frontal que pasa por encima de la cubierta causa succión exterior que juntamente con el viento que se cuela por debajo de la marquesina causando presión en el interior, desplazan la cubierta hacia arriba.

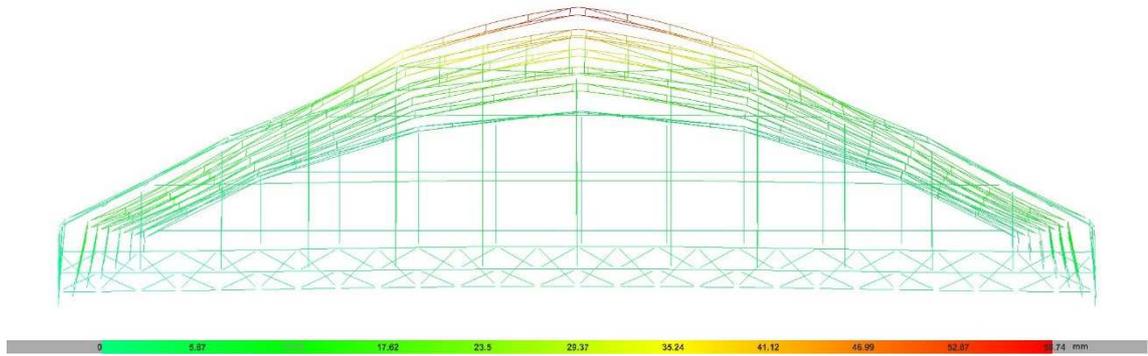


Imagen 84 Deformaciones alzado

0	5,87	11,75	17,62	23,5	29,37	35,24	41,12	46,99	52,87	56,74	Unidades mm
---	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

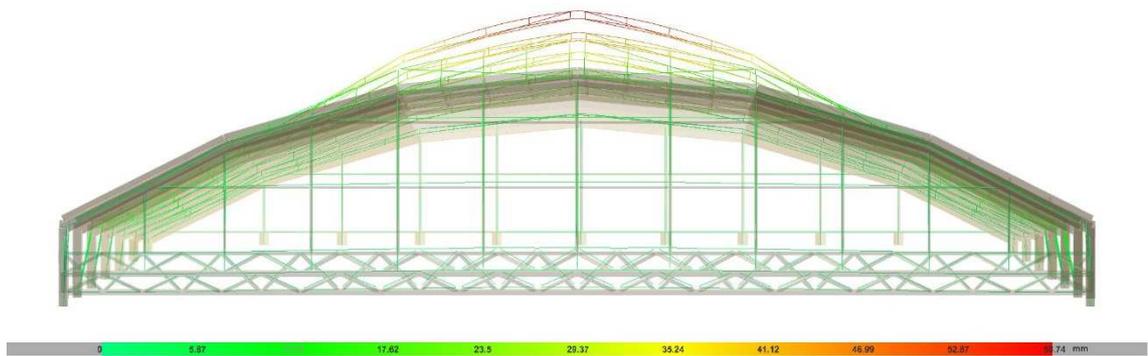


Imagen 85 Deformaciones alzado con estructura inicial

0	5,87	11,75	17,62	23,5	29,37	35,24	41,12	46,99	52,87	56,74	Unidades mm
---	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

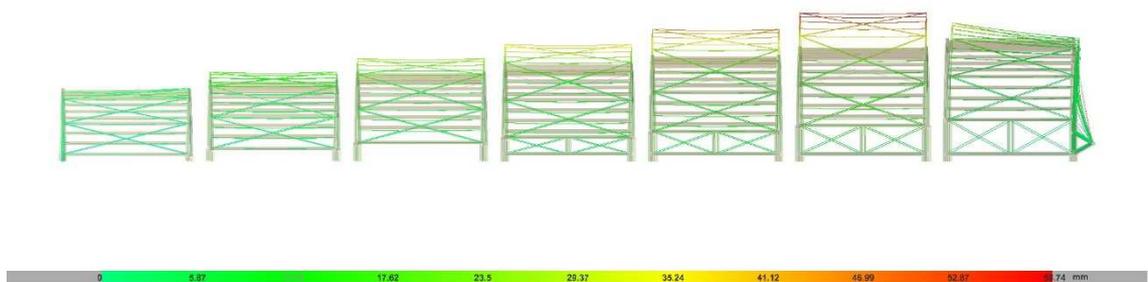


Imagen 86 Deformaciones perfil con estructura inicial

0	5,87	11,75	17,62	23,5	29,37	35,24	41,12	46,99	52,87	56,74	Unidades mm
---	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

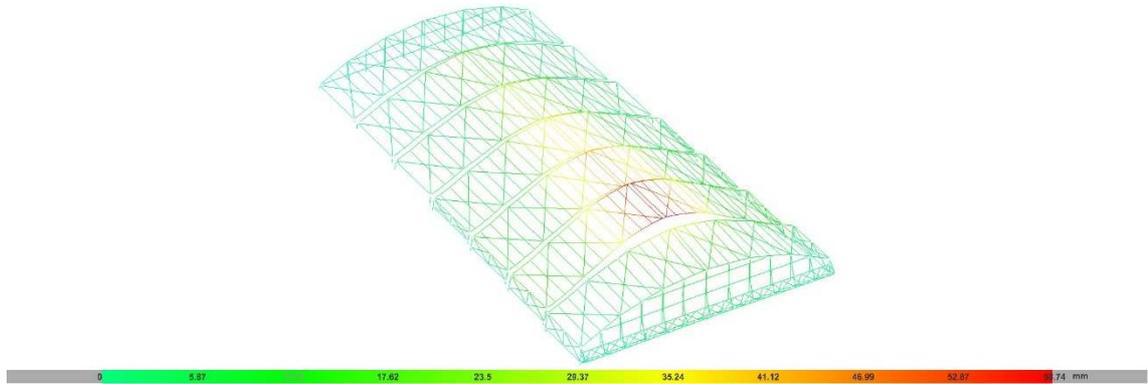


Imagen 87 Deformaciones vista cónica

0	5,87	11,75	17,62	23,5	29,37	35,24	41,12	46,99	52,87	56,74	Unidades mm
---	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

El factor de escala en las imágenes es de un 30% esto significa que los desplazamientos reales que se alcanzan en la estructura metálica se han aumentado un 30% gráficamente para poder apreciarlos.

2.1.2 Aprovechamiento

Como se puede comprobar en la siguiente imagen, todos los elementos de la estructura están asegurados en más de un 35% por debajo del máximo aprovechamiento. Dejando suficiente margen de seguridad.

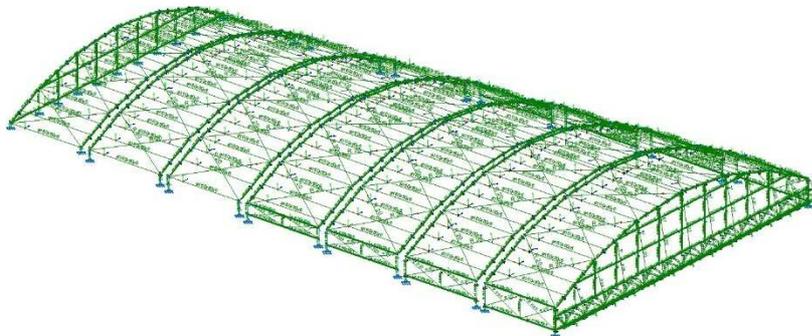


Imagen 88 Aprovechamiento estructura

2.2 Comprobaciones ELU detallado de pórticos relevantes

- 3 Los pórticos más relevantes son los correspondientes a los pórticos frontales de los módulos 1 y 7 ya que se tratan de los módulos situados a los extremos, soportando la mayor parte de la carga del viento frontal. También se analizarán los pórticos del módulo 2, ya que se trata del siguiente pórtico más grande y por lo tanto del más débil dentro de los módulos intermedios. A pesar de que los módulos intermedios no deben de soportar cargas de vientos frontales, están sometidos a grandes esfuerzos, ya que ninguno de sus dos pórticos esta arriostrado en el plano xy, al contrario que sucede en los pórticos extremos 1 y 7 que si lo están en uno de sus pórticos.
- 4 Por simetría en los planos, se analizará medio pórtico de los siguientes módulos.
- 5 Se han realizado las comprobaciones E.L.U (Estados Límite Último) de todos los elementos que componen la estructura metálica comprobando que todos las cumplen. Dada la extensión de las comprobaciones en los anexos se incluyen las comprobaciones E.L.U. de los elementos sometidos a un mayor esfuerzo.

5.1.1 Módulo nº1

Las comprobaciones E.L.U. de los elementos del módulo nº1 se incluyen en el ANEXO IV.

5.1.2 Módulo nº2

Las comprobaciones E.L.U. de los elementos del módulo nº2 se incluyen en el ANEXO V.

5.1.3 Modulo nº7

Las comprobaciones E.L.U. de los elementos del módulo nº7 se incluyen en el ANEXO VI.

5.2 Reacciones módulo 1

Se analizan las reacciones en los nudos de las bases de los pilares del módulo 1 ya que al ser un módulo extremo y se el módulo de mayor tamaño tendrá las mayores reacciones. El análisis de las reacciones en los nudos de las bases de los pilares del módulo 1 se utilizará para dimensionar los rodamientos necesarios para el carro, como para dimensionar el forjado sobre el cual se instala la estructura metálica.

En las siguientes imágenes se muestran los valores máximos y mínimos de las reacciones en los nudos exteriores del módulo 1, correspondientes a las envolventes de las combinaciones de equilibrio de cimentación.

N224 (-544.644, 24.112, -0.01) Rx: (-7.337, 8.081) t Ry: (-18.488, 18.847) t Rz: (-7.499, 13.920) t Mx: (-9.974, 11.728) t-m My: (-3.425, 4.077) t-m Mz: (-5.295, 5.760) t-m	N239 (-538.644, 24.112, -0.01) Rx: (-2.606, 2.941) t Ry: (-11.387, 12.976) t Rz: (-9.464, 12.765) t Mx: (-20.643, 16.387) t-m My: (-2.199, 2.619) t-m Mz: (-1.005, 1.670) t-m
N203 (-544.644, -1.86, -0.01) Rx: (-7.339, 8.076) t Ry: (-18.976, 18.503) t Rz: (-7.499, 13.969) t Mx: (-12.578, 9.975) t-m My: (-3.423, 4.067) t-m Mz: (-5.778, 5.315) t-m	N188 (-538.644, -1.86, -0.01) Rx: (-2.602, 2.930) t Ry: (-13.009, 10.452) t Rz: (-9.464, 11.279) t Mx: (-17.469, 20.756) t-m My: (-2.194, 2.608) t-m Mz: (-1.667, 1.005) t-m

Imagen 89 Reacciones módulo 1 DTR

3. Análisis estructura refuerzo.

Se realiza el análisis de la estructura tubular de refuerzo del módulo 1 sobre la estructura diseñada bajo legislación española CTE. Como posteriormente se comprobará, la legislación española CTE, es más restrictiva que la legislación argelina DTR.

La estructura tubular del módulo 1 es necesaria para reforzar el cerramiento del pórtico frontal frente a las acciones de viento frontal.

El módulo 1 es de los dos módulos frontales (módulo 1 y 7), el único que se desplaza, lo que provoca que el cerramiento frontal sea vulnerable frente a vientos frontales (0° y 90°), ya que el marco instalado en el frontal no es suficiente para soportar su pandeo en el plano xy.

Inicialmente desde la empresa donde realice las practicas se diseñó una estructura de refuerzo, que una vez analizada mediante el CYPE 3D se llegó a la conclusión de que no

cumplía las exigencias de resistencia. Por lo tanto, se procedió a diseñar una nueva estructura de refuerzo.

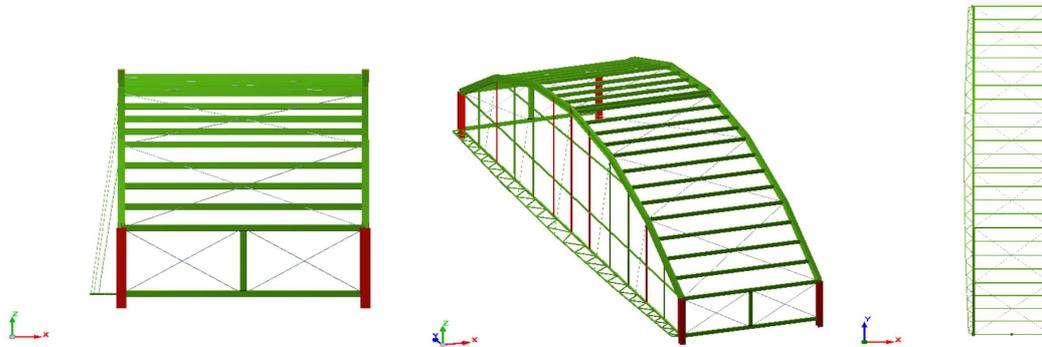


Imagen 90 Vistas perfil, cónica y planta de estructura de refuerzo plana

6.1 Deformaciones estructura inicial propuesta

A continuación, se muestran las deformaciones que sufre la estructura de refuerzo antes las combinaciones de cargas más desfavorables que son las siguientes:

- PP + Cubierta + V(0°) H.1.1P. Se trata de viento lateral combinado con presión interior más las cargas constantes del peso propio de la estructura con la cubierta de policarbonato. En dicha combinación de hipótesis la estructura de refuerzo se encuentra sometida a compresión, alcanzando desplazamientos inadmisibles de 154 mm en el plano xy.

El mismo fenómeno ocurre para la combinación PP + Cubierta + V(180°) H1.1P.

En las siguientes imágenes se puede visualizar los desplazamientos que tienen lugar.

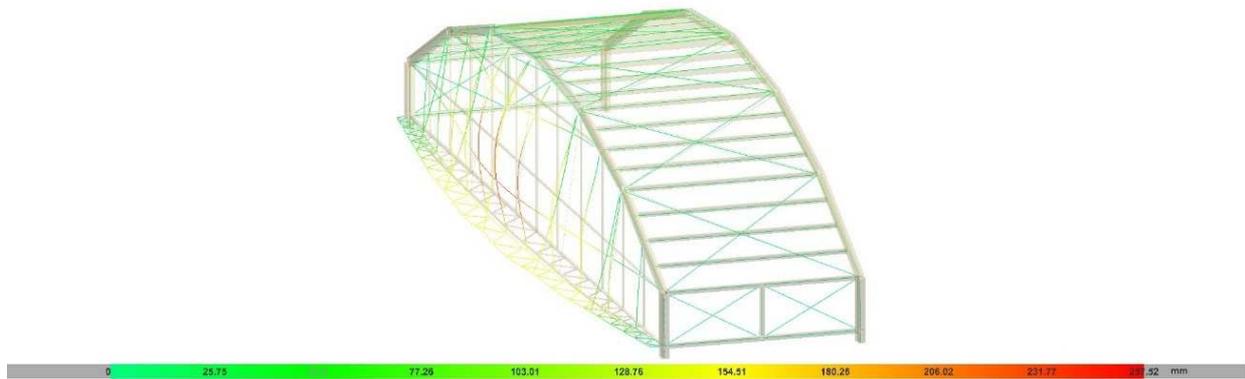


Imagen 91 Deformación estructura refuerzo plana vista cónica

0	25,75	31,5	77,26	103,01	128,76	154,51	180,25	205,02	231,77	257,52	Unidades mm
---	-------	------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------------

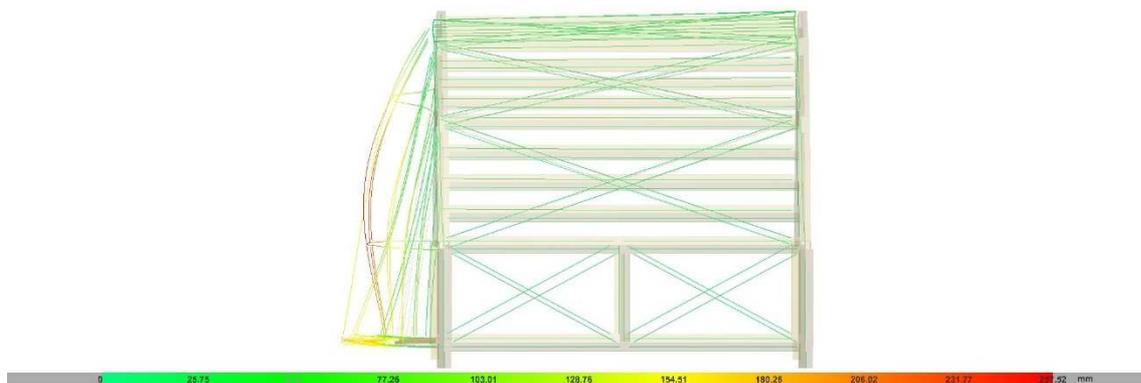


Imagen 92 Deformación estructura refuerzo plana vista perfil

0	25,75	31,5	77,26	103,01	128,76	154,51	180,25	205,02	231,77	257,52	Unidades mm
---	-------	------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------------

- PP + Cubierta + V(90°) H.1.2S. Se trata de viento frontal combinado con succión en el interior, más las cargas constantes del peso propio de la estructura con la cubierta de policarbonato. En dicha combinación de hipótesis la estructura de refuerzo se encuentra sometida a flexión, alcanzando desplazamientos inadmisibles de 151 mm en el plano xy.
El mismo fenómeno ocurre para la combinación PP + Cubierta + V(270°) H.1.2P.

En las siguientes imágenes se puede visualizar los desplazamientos que tienen lugar.

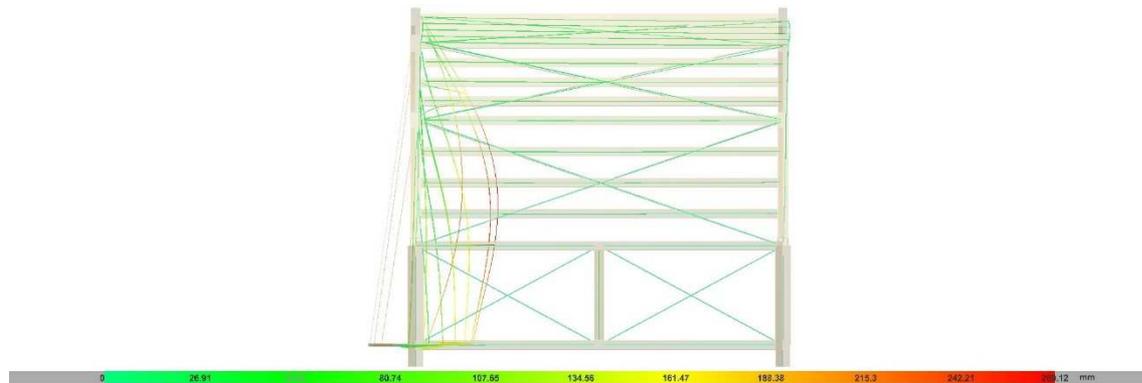


Imagen 93 Deformación estructura refuerzo plana perfil

0	25,75	31,5	77,26	103,01	128,76	154,51	180,25	205,02	231,77	257,52	Unidades mm
---	-------	------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------------

6.2 Descripción nueva estructura

Se optó por diseñar una estructura tridimensional tubular por los siguientes motivos:

- soportar los esfuerzos causados por el viento frontal, sometiendo a la estructura tubular a flexión en el plano xy.
- soportar el peso del marco junto al cerramiento, sometiendo a la estructura tubular a flexión en el plano yz.
- soportar los esfuerzos causados por el viento lateral, que somete a la estructura a compresión, apareciendo pandeo en el plano xy.

El peso propio de la estructura será soportado por el pórtico frontal del módulo 1 uno mediante unos tirantes de diámetro 20mm

Tras probar varias configuraciones geométricas con diferentes perfiles tubulares se obtiene finalmente la siguiente estructura.

CARACTERÍSTICAS:

- Longitud: 25,9 m
- Tubos:
 - Diámetro 170 mm, espesor 5 mm
 - Diámetro 150 mm, espesor 5 mm
 - Diámetro 100 mm, espesor 5 mm

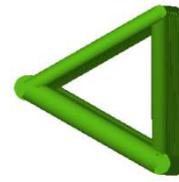


Imagen 94 Perfil estructura de refuerzo tubular



Imagen 95 Alzado estructura tubular de refuerzo

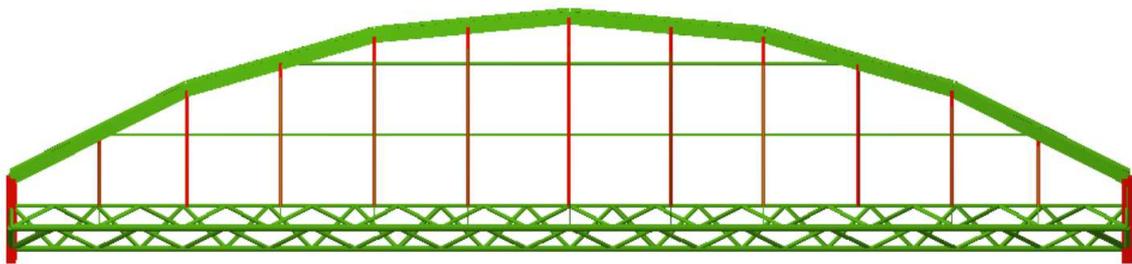


Imagen 96 Alzado estructura tubular de refuerzo en módulo 1

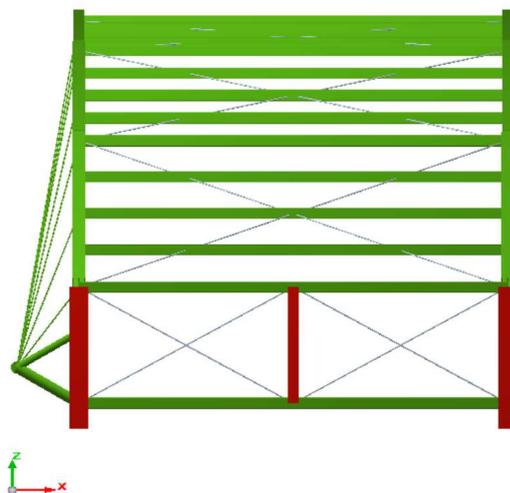


Imagen 97 Perfil estructura rubular de refuerzo en módulo 1

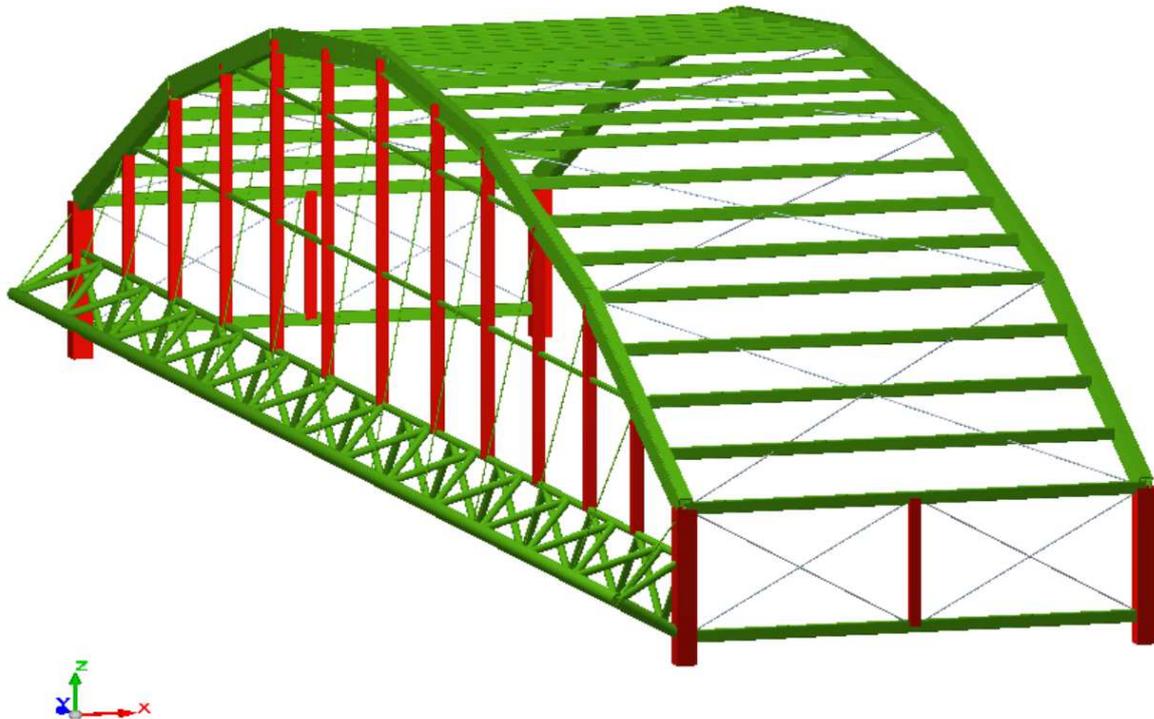


Imagen 98 Estructura tubular de refuerzo en módulo 1

6.3 Análisis nueva estructura

En la simulación de la nueva estructura en el CYPE 3D se tuvieron que adoptar las siguientes medidas para que el programa no generase errores.

Los tirantes de esfuerzo no se pudieron definir como tirantes directamente, ya que un tirante teóricamente, debe de ir enmarcado mediante perfiles quedando los extremos de los tirantes en las esquinas de los marcos. Cuando se definen perfiles como tirantes solo se realizan cálculos para esfuerzos a tracción, ya que un tirante nunca se encontrará a compresión. Así pues, los tirantes de refuerzo se definieron como barras ordinarias de R 20mm y para que solo se realizara el cálculo para esfuerzos a tracción se definieron con un coeficiente de pandeo $\beta=0$.

Por otro lado, el resto de tubos de la estructura de refuerzo de les asigno un valor de pandeo de $\beta=1$ como barra biapoyada, ya que los nudos de las barras estén soldados entre si se consideran nudos articulados.

6.3.1 Desplazamientos

A continuación, se muestran las deformaciones que sufre la estructura de refuerzo antes las combinaciones de cargas más desfavorables que son las siguientes:

- PP + Cubierta + V(0º) H.1.1P. Se trata de viento lateral combinado con presión interior más las cargas constantes del peso propio de la estructura con la cubierta de policarbonato. En dicha combinación de hipótesis la estructura de refuerzo se encuentra sometida a compresión, alcanzando desplazamientos admisibles de 35 mm en el plano xy.

El mismo fenómeno ocurre para la combinación PP + Cubierta + V(180º) H1.1P.

En las siguientes imágenes se puede visualizar los desplazamientos que tienen lugar.

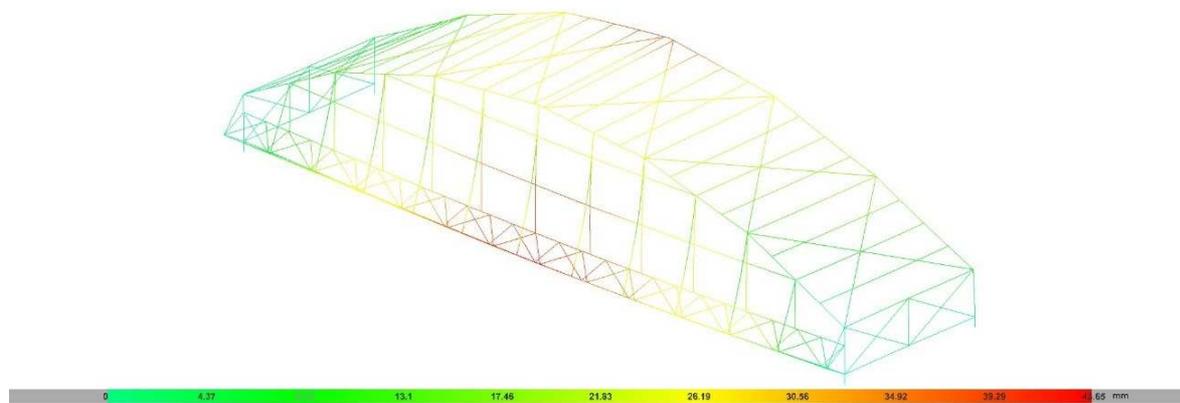


Imagen 99 Deformaciones vista cónica

0	4,37	8,75	13,1	17,46	21,83	26,83	30,56	34,92	39,29	43,65	Unidades mm
---	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

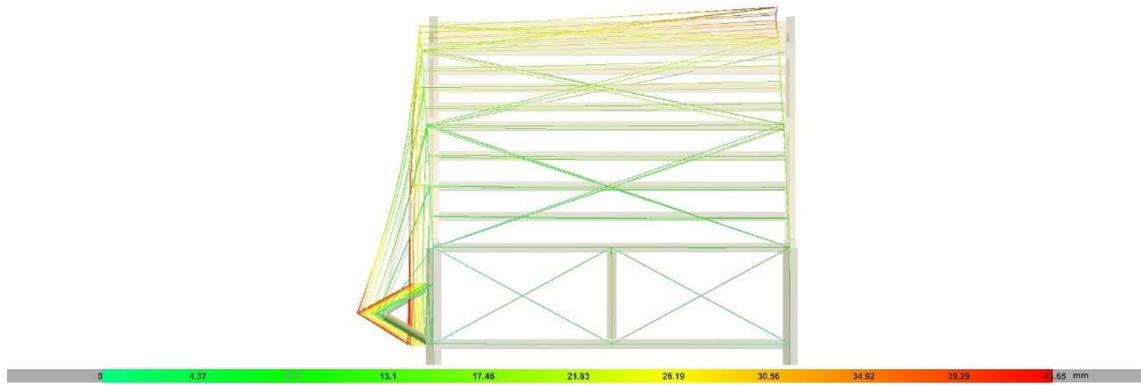


Imagen 100 Deformaciones perfil

0	4,37	8,75	13,1	17,46	21,83	26,19	30,56	34,92	39,29	43,65	Unidades mm
---	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

- PP + Cubierta + V(90°) H.1.2S. Se trata de viento frontal combinado con succión en el interior, más las cargas constantes del peso propio de la estructura con la cubierta de policarbonato. En dicha combinación de hipótesis la estructura de refuerzo se encuentra sometida a flexión, alcanzando desplazamientos máximos entre 30 mm y 40mm en el plano xy, siendo máximos.

El mismo fenómeno ocurre para la combinación PP + Cubierta + V(270°) H.1.2P.

En las siguientes imágenes se puede visualizar los desplazamientos que tienen lugar.

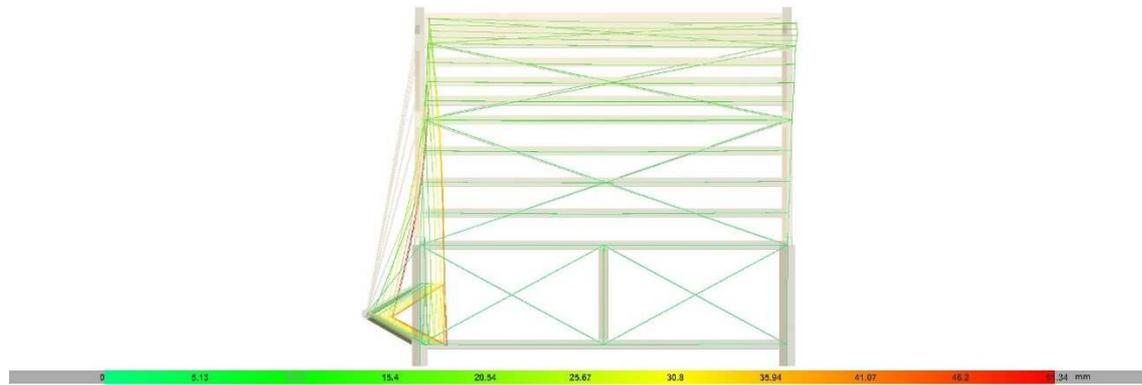


Imagen 101 Deformaciones perfil

0	4,37	8,75	13,1	17,46	21,83	26,83	30,56	34,92	39,29	43,65	Unidades mm
---	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

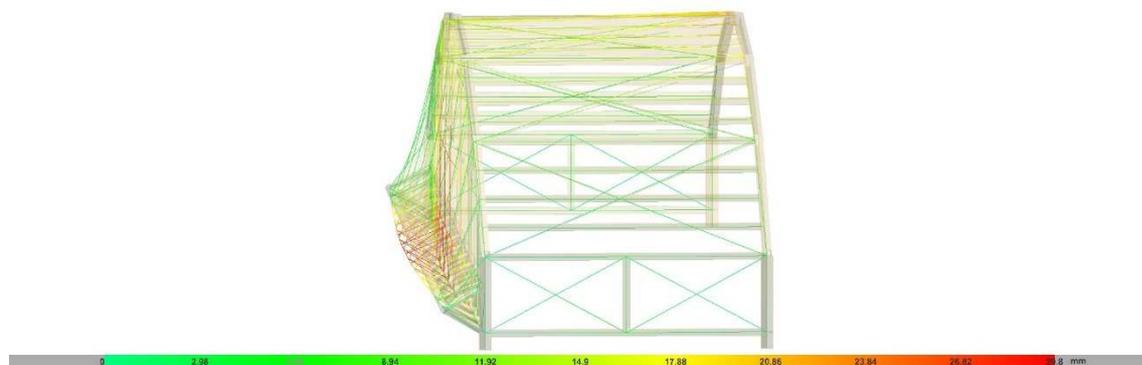


Imagen 102 Deformaciones vista cónica

0	4,37	8,75	13,1	17,46	21,83	26,83	30,56	34,92	39,29	43,65	Unidades mm
---	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------------

6.3.2 Esfuerzos en pilares

Los esfuerzos axiales que se muestran en la siguiente imagen son debidos a la compresion causada por el peso propio del modulo. Se puede observar como donde se une la estructura de refuerzo al pilar se alcanza un valor máximo de -23,871t causado por el propio peso de la estructura de refuerzo y del marco frontal que descansa sobre ella. El valor maximo de axil, de 13,377t es causado por la traccion que realizan las diferentes hipotesis de viento.

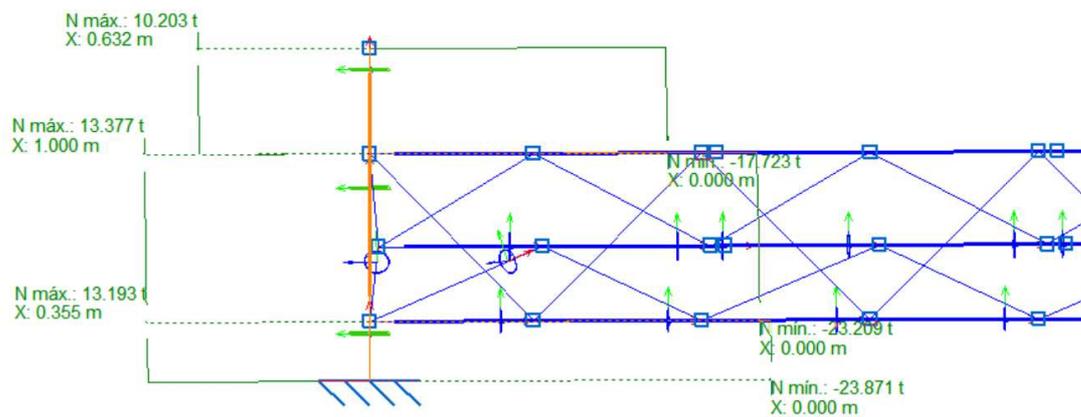


Imagen 103 Axil en pilar

Como se puede observar en la siguiente imagen, los cambios de valor del cortante y se dan lugar en los anclajes de la estructura de refuerzo a los pilares.

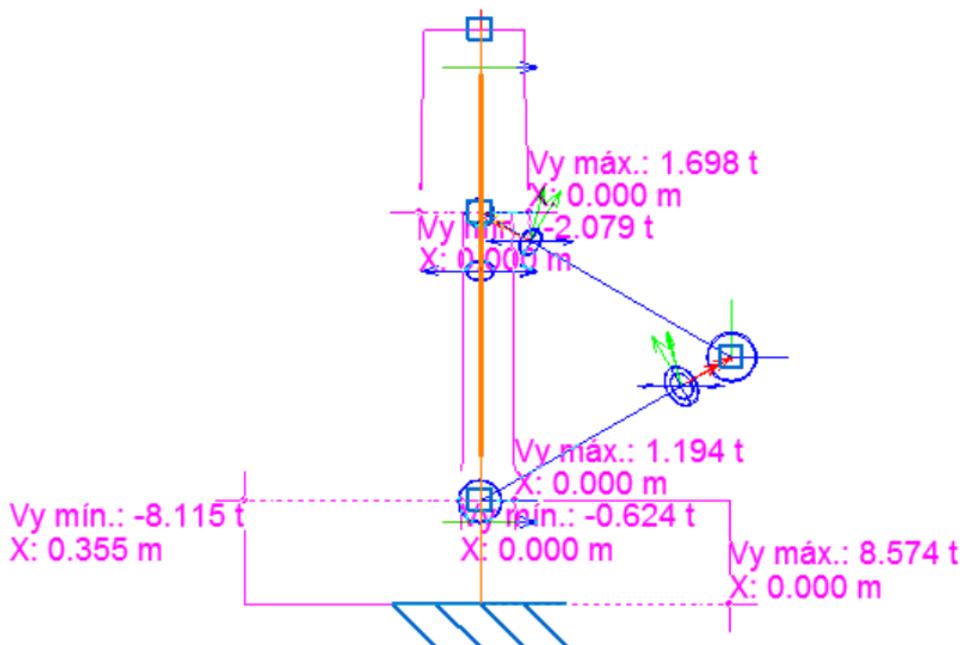


Imagen 104 Cortante y en pilar

Lo mismo sucede en el cortante en el eje z, aunque los valores de cortante en el eje z de los pilares es mucho mayor al cortante en el eje y.

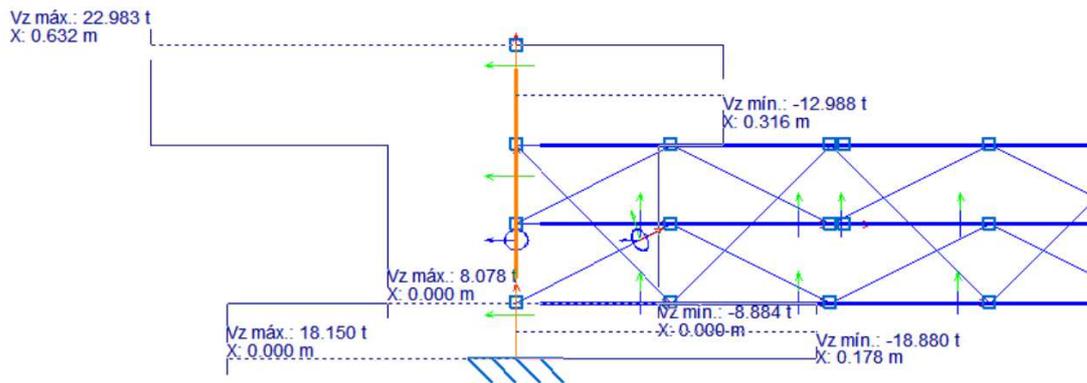


Imagen 105 Cortante z en pilar

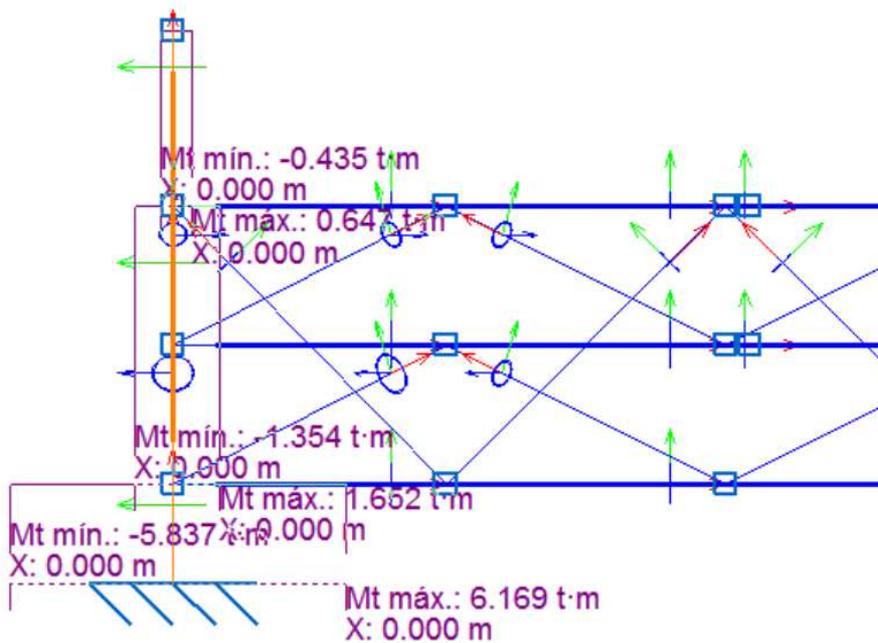


Imagen 106 Momento torsor en pilar

Los momentos que debe de soportar los pilares en el eje y son causados por los vientos frontales (90° y 270°), creando fuerzas de empuje a lo largo del eje x que se transmiten en momentos a los pilares en el eje y.

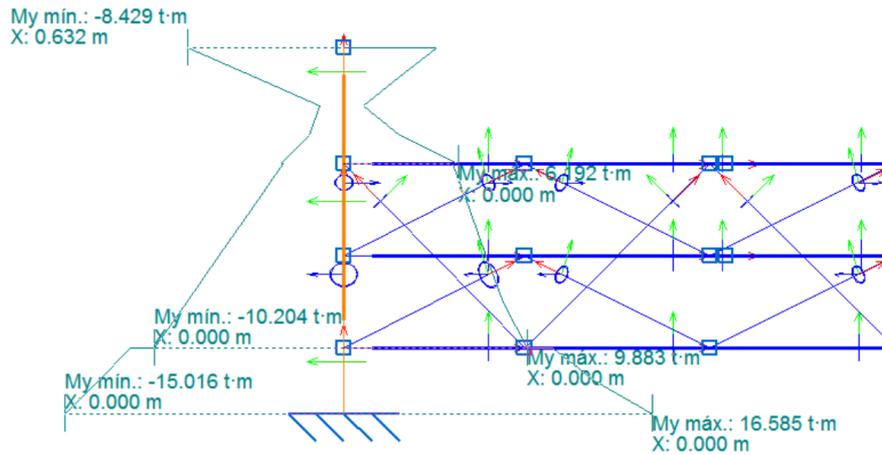


Imagen 107 Momento y en pilar

Los momentos en el eje z que soportan los pilares son causados por el tubo que queda desplazado del eje del pilar (eje z) en la siguiente imagen (tubo exterior), ya que los axiles que soportan dicho tubo, son transmitidos a los pilares en forma de momentos en el eje z.

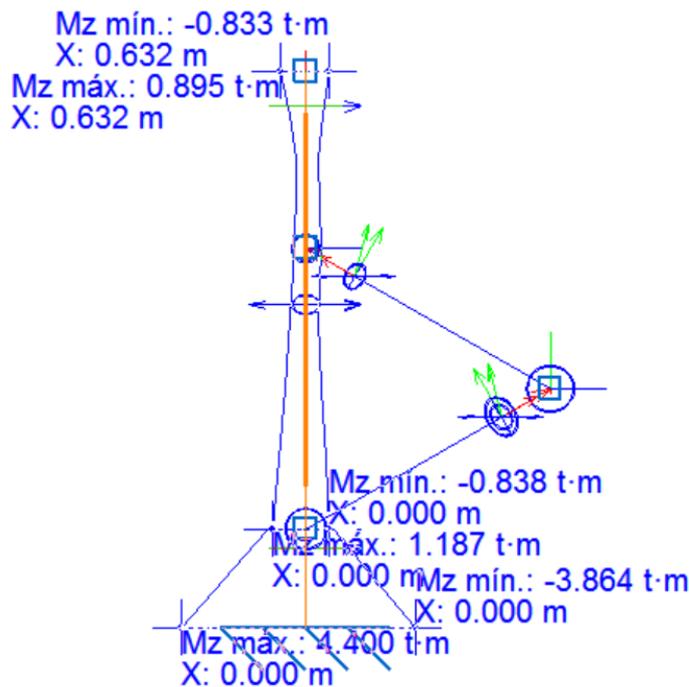


Imagen 108 Momento z en pilar

6.3.3 Esfuerzos en estructura tubular

- Esfuerzo axial en tubo superior.
- Esfuerzo axial en tubo inferior.

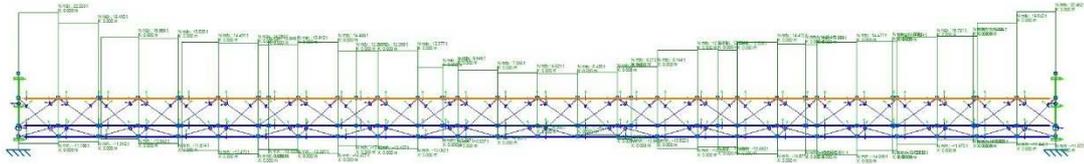


Imagen 109 Esfuerzo axial en tubo superior

*Imagen obtenida de CYPE 3d

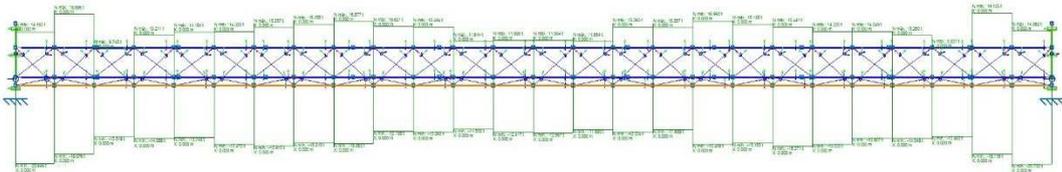


Imagen 110 Esfuerzo axial en tubo inferior

*Imagen obtenida de CYPE 3d

- Esfuerzo axial en tubo intermedio.

Como se ha visto en el apartado de desplazamientos punto 3.3.1, las hipótesis de viento $V(0^\circ)$ H.1.1P, $V(180^\circ)$ H.1.1P, $V(90^\circ)$ H.1.2S y $V(270^\circ)$ H.1.1P provocan pandeo y flexión de la estructura sometiendo al tubo exterior a compresión y

tracción alcanzando unos máximos de $-38t$ (compresión) y $37t$ (tracción).

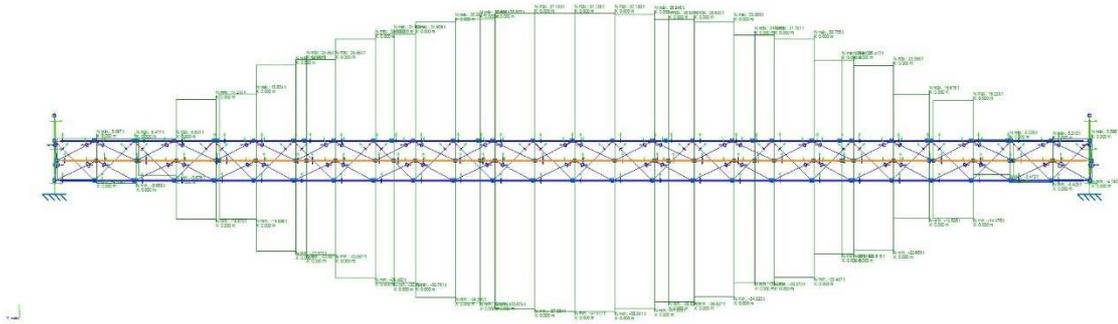


Imagen 111 Esfuerzo axial en tubo intermedio

**Imagen obtenida de CYPE 3d*

- Esfuerzo cortante en el eje z.

Como se puede observar en la siguiente imagen donde se ve representado el esfuerzo cortante en el eje z, se obtienen unos picos que coinciden con el anclaje de los tirantes que soportan la estructura tubular.

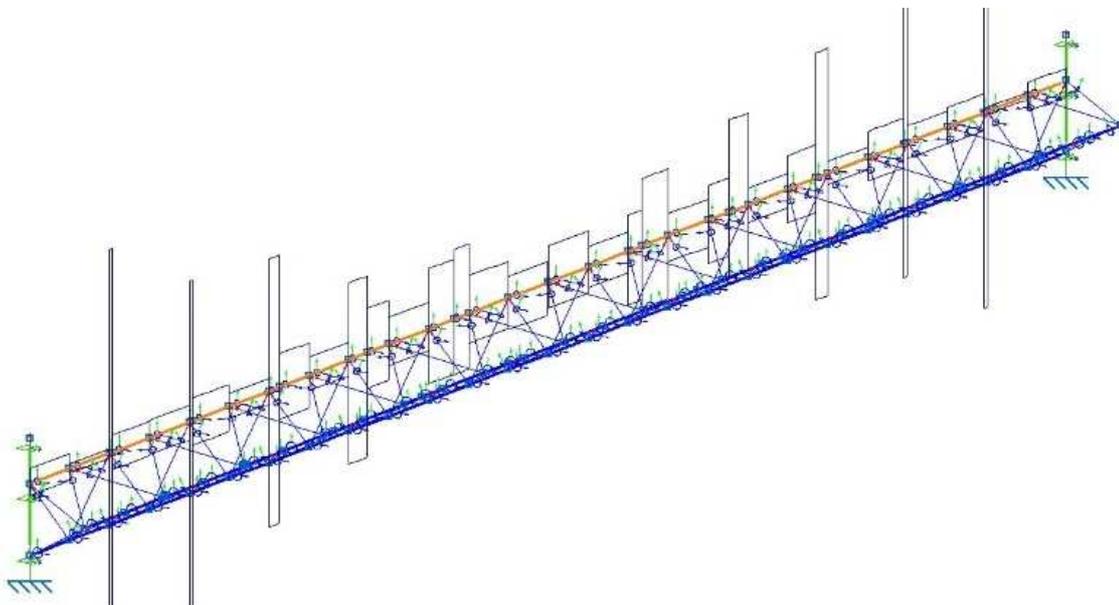


Imagen 112 Cortante z en tubo superior

**Imagen obtenida de CYPE 3d*

- Flecha en plano xy.

La flecha en el plano xy viene causada principalmente por las hipótesis de viento $V(0^\circ)$ H1.1 P, $V(180^\circ)$ H1.1 P, $V(90^\circ)$ H1.2 S y $V(270^\circ)$ H1.2 S. Alcanzando unos valores máximos admisibles de 40 mm en los dos sentidos del eje x.

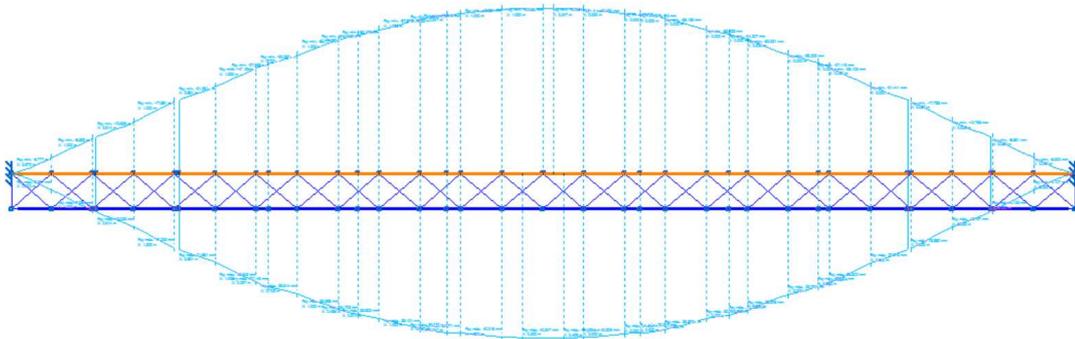


Imagen 113 Flecha plano xy en tubo superior

**Imagen obtenida de CYPE 3d*

- Flecha en el plano xz.

La flecha en el plano xz es causada por el propio peso de la estructura tubular. Los tirantes instalados desde el pórtico frontal hasta la estructura de refuerzo son los encargados de trabajar a tracción para soportar el peso propio de la estructura y minimizar así la flecha en dicho plano. El valor máximo de flecha al que se llega es de 9,88mm.

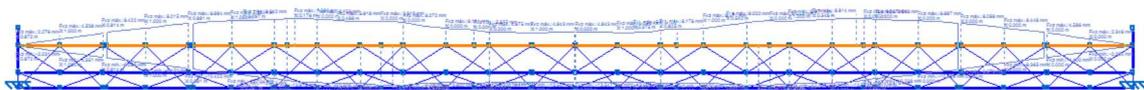


Imagen 114 Flecha en plano xz tubo superior.

**Imagen obtenida de CYPE 3d*

6.3.4 Comprobaciones

Como se puede comprobar en la siguiente imagen, todos los elementos del pórtico 1 incluyendo la estructura de refuerzo están en más de un 30% por debajo del máximo aprovechamiento. Dejando suficiente margen de seguridad.

En las siguientes imágenes se muestran los valores máximos y mínimos de las reacciones en los nudos exteriores del módulo 1, correspondientes a las envolventes de las combinaciones de equilibrio de cimentación.

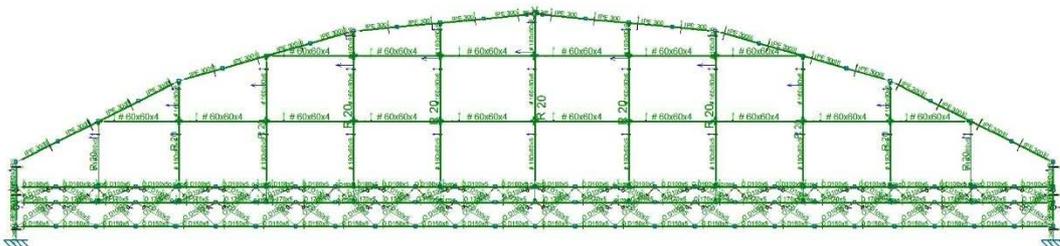


Imagen 115 Marco frontal módulo 1

**Imagen obtenida de CYPE 3d*

- Comprobación tirante R 20.

La comprobación ELU del tirante sometido a mayor tensión de todos los tirantes que sujetan la estructura de refuerzo se encuentra en el ANEXO VII.

- Comprobación pilar HEB 240.

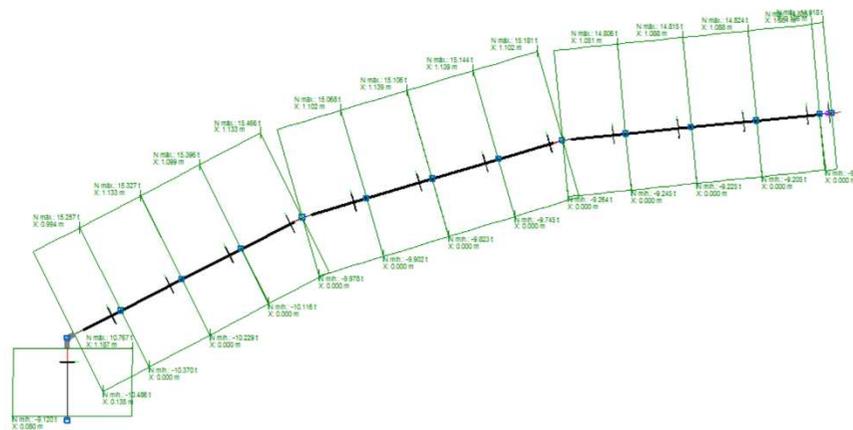
Se incluye en el ANEXO VIII la comprobación del pilar del pórtico frontal del módulo 1, ya que está sometido a esfuerzo mayores que el resto de pilares, al ser un pilar perteneciente al pórtico frontal, además de tener la estructura de refuerzo unida a él.

4. Comparación entre resultados CTE y DTR

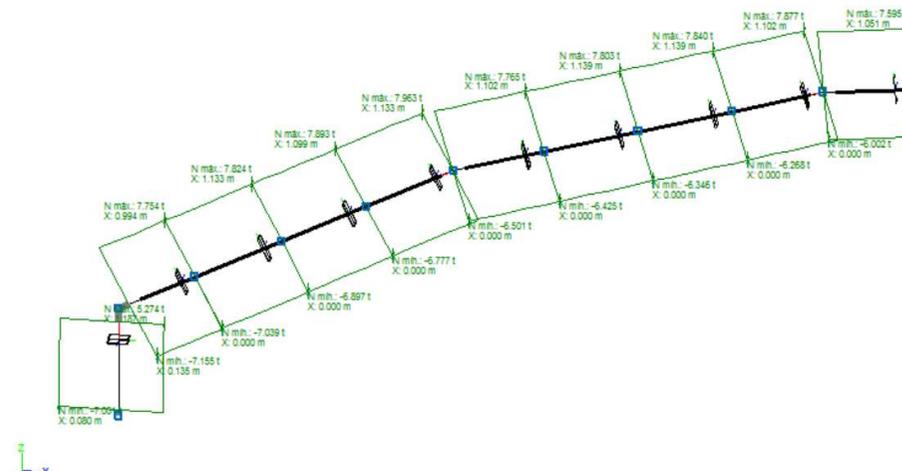
4.1 Esfuerzos sobre portico del modulo 2

Axil (N) *Imagen obtenida de CYPE 3d, valores ilegibles, valores máximos y mínimos en texto.

Bajo legislación española



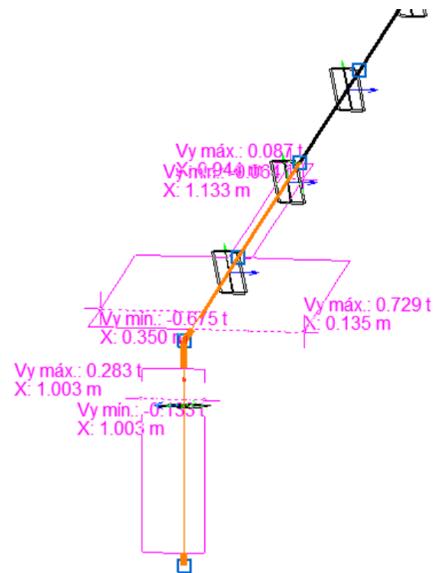
Bajo legislación argelina



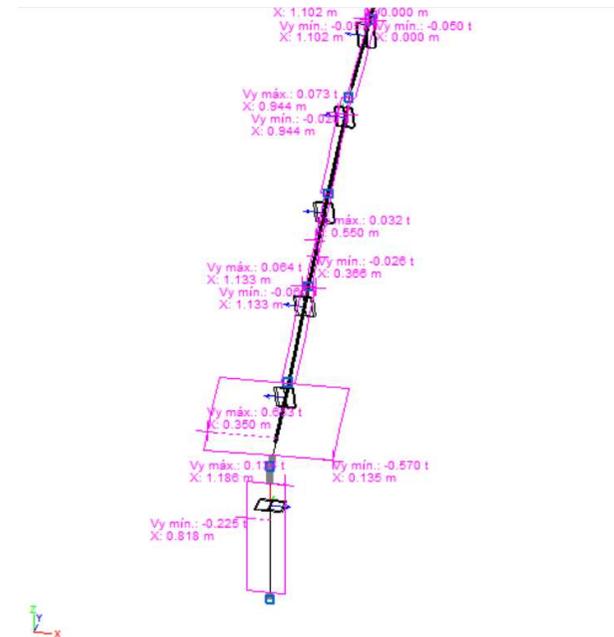
Los valores maximos de axil, en valor absoluto, que se dan lugar en el portico bajo legislación española (CTE) son de 10t en el pilar y de 15t en las vigas. Por otro lado, los valores maximos de axil en el portico bajo legislación argelina (DTR) son de 5t en el pilar y de 7t en las vigas. Hay una diferencia de un 50% menos de axil en la estructura bajo la legislación argelina.

Cortante eje y (N) *Imagen obtenida de CYPE 3d, valores ilegibles, valores máximos y mínimos en texto.

Bajo legislación española



Bajo legislación argelina



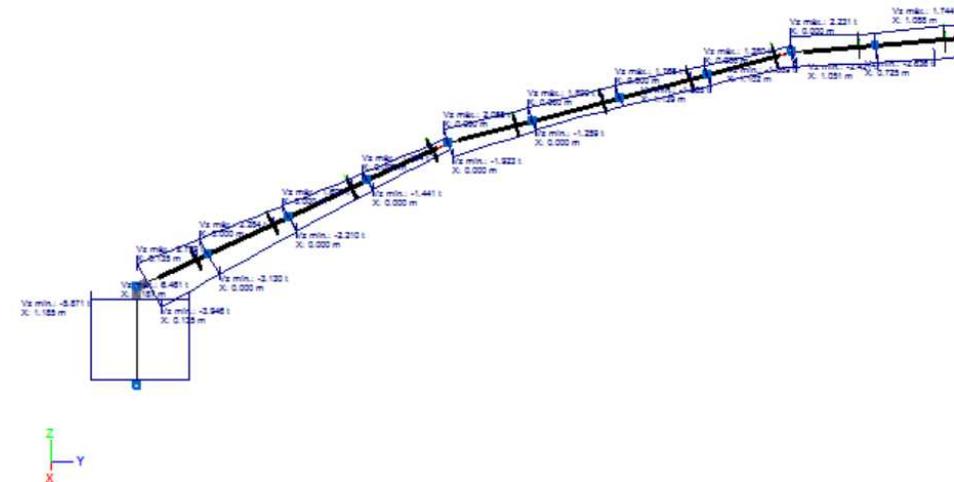
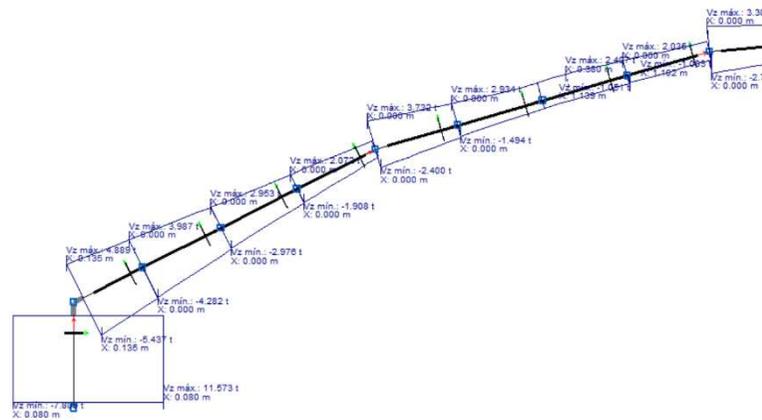
Como se puede observar, solamente aparecen esfuerzos cortantes en el eje y, en los pilares y en el primer segmento de viga hasta la primera correa.

Los valores máximos de corte y, en valor absoluto, que se dan lugar en el pórtico bajo legislación española (CTE) son de 0,238t en el pilar y de 0,729t en las vigas. Por otro lado, los valores máximos de corte en el pórtico bajo legislación argelina (DTR) son de 0,225t en el pilar y de 0,663t en las vigas. Hay una diferencia de un 5% menos de corte en la estructura bajo la legislación argelina.

Cortante eje z (N) *Imagen obtenida de CYPE 3d, valores ilegibles, valores máximos y mínimos en texto.

Bajo legislación española

Bajo legislación argelina

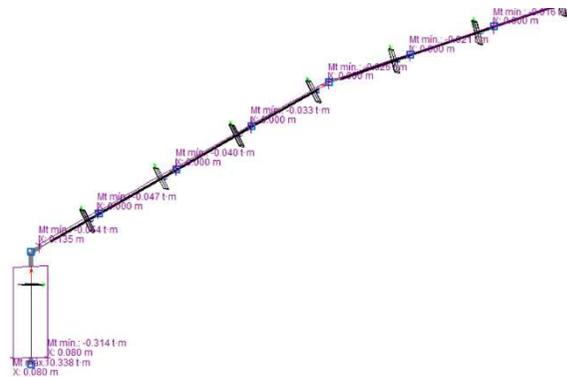


El valor de cortante a lo largo del pilar se mantiene constante, mientras a lo largo de cada viga disminuye en su longitud, adquiriendo el máximo valor en las uniones con el pilar y con las vigas.

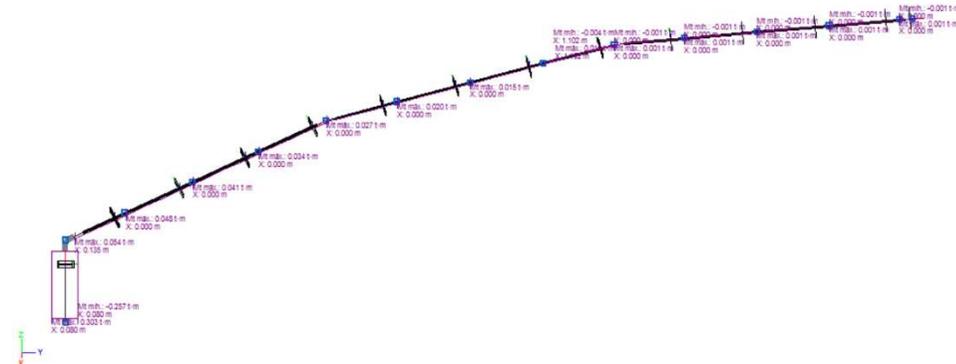
Los valores máximos de cortante z, en valor absoluto, que se dan lugar en el pórtico bajo legislación española (CTE) son de 11,57t en el pilar y de 4,898t en las vigas. Por otro lado, los valores máximos de cortante en el pórtico bajo legislación argelina (DTR) son de 5,7t en el pilar y de 3,1t en las vigas. Hay una diferencia de un 50% menos de cortante en el pilar y un 30% menos de cortante en las vigas de la estructura bajo la legislación argelina.

Momento torsor (N·m) *Imagen obtenida de CYPE 3d, valores ilegibles, valores máximos y mínimos en texto.

Bajo legislación española



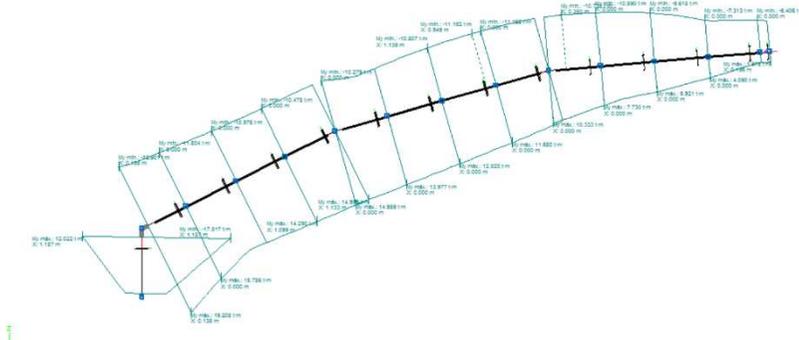
Bajo legislación argelina



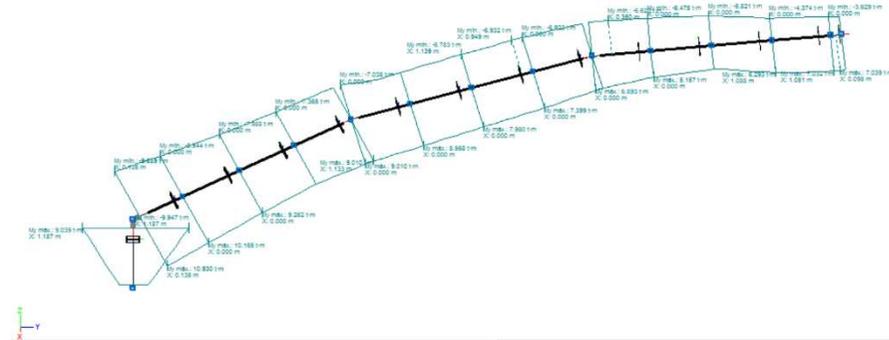
Practicamente solamente existe momento torsor en los pilares de los porticos, en el resto de elementos es despreciable. Los valores maximos de momento torsor, en valor absoluto, que se dan lugar en el portico bajo legislación española (CTE) son de 0,338t·m en el pilar. Por otro lado, los valores maximos de momento torsor en el portico bajo legislación argelina (DTR) son de 0,308t·m en el pilar. Hay una diferencia de un 9% menos de cortante en el pilar de la estructura bajo la legislación argelina.

Momento eje y (N·m) *Imagen obtenida de CYPE 3d, valores ilegibles, valores máximos y mínimos en texto.

Bajo legislación española



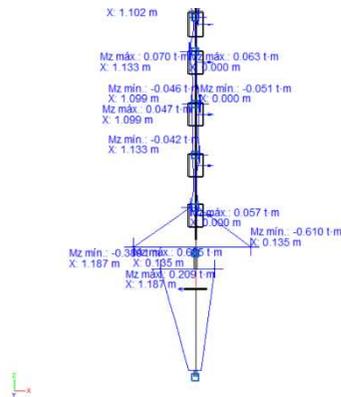
Bajo legislación argelina



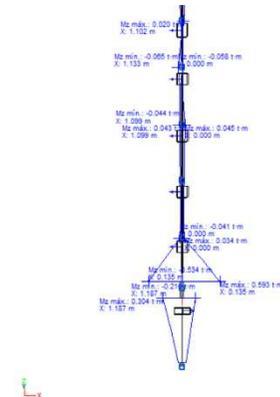
Los valores maximos de momento en el eje y, en valor absoluto, que se dan lugar en el portico bajo legislación española (CTE) son de 17t·m en el pilar y de 19t·m en las vigas. Por otro lado, los valores maximos de momento y en el portico bajo legislación argelina (DTR) son de 9,9t·m en el pilar y de 10,9t·m en las vigas. Hay una diferencia de un 42% menos de cortante en la estructura bajo la legislación argelina.

Momento en eje z (N·m) *Imagen obtenida de CYPE 3d, valores ilegibles, valores máximos y mínimos en texto.

Bajo legislación española



Bajo legislación argelina

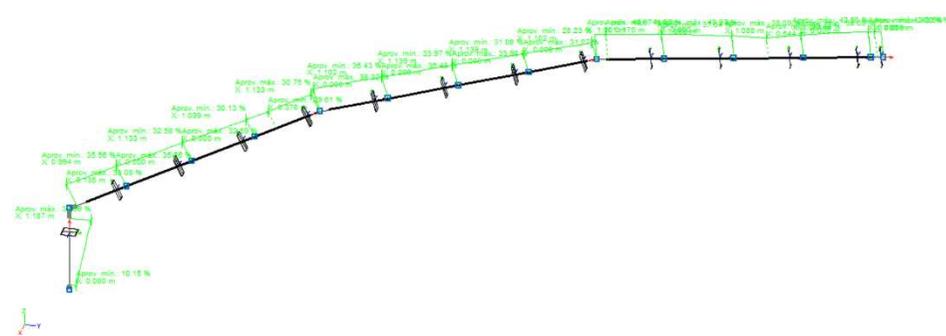
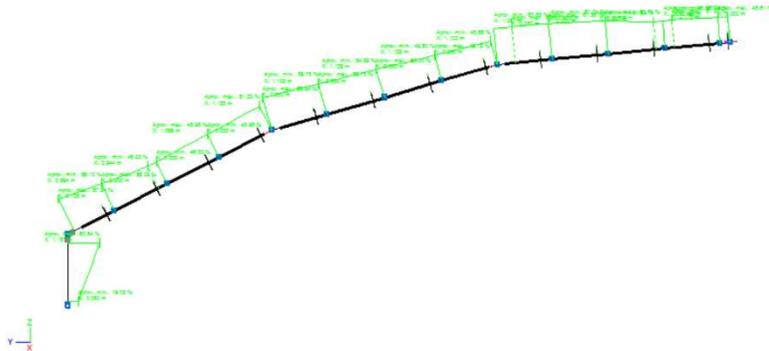


Los valores maximos de momento en el eje z, en valor absoluto, que se dan lugar en el portico bajo legislación española (CTE) son de 0,380t·m en el pilar y de 0,685t·m en las vigas. Por otro lado, los valores maximos de momento z en el portico bajo legislación argelina (DTR) son de 0,304t·m en el pilar y de 0,593t·m en las vigas. Hay una diferencia de un 20% menos de cortante en la estructura bajo la legislación argelina.

Tensión / Aprovechamiento %*Imagen obtenida de CYPE 3d, valores ilegibles, valores máximos y mínimos en texto.

Bajo legislación española

Bajo legislación argelina



Los valores máximos de aprovechamiento que se dan lugar en el portico bajo legislación española (CTE) son del alrededor de un 50% llegando a máximos de 60%. Sin embargo bajo la legislación argelina (DTR) estos valores disminuyen exactamente un 40% tomando valores del alrededor de un 30% llegando a máximos del 40%.

La disminución de los valores de axil, cortante, momentos, flecha y rendimiento en la estructura bajo las acciones de la legislación argelina se deben principalmente a que el reglamento técnico argelino de nieve y viento DTR C-42 es más permisivo que el reglamento español CTE-DB-SE-AE.

4.2 Análisis de cargas de viento de los diferentes reglamentos

Las cargas de viento calculadas mediante el reglamento español y el reglamento argelino se pueden comparar porque se han calculado para la misma situación de Boufarik teniendo en cuenta su situación geográfica y velocidad media del viento.

En la siguiente tabla se muestra la carga neta que actúa sobre toda la cubierta en las hipótesis de viento lateral, tanto para succión interior como para presión interior, comparando los valores obtenidos en las diferentes legislaciones. Como se pueden observar prácticamente en todas las zonas, tanto de los paramentos laterales como la de las cubiertas, los valores de carga son mayores en la legislación española (CTE).

En el resto de hipótesis de viento ocurre lo mismo, las cargas de viento sobre prácticamente todas las zonas de la cubierta son mayores en la legislación española (CTE) que en la legislación argelina (DTR).

Por lo tanto, se llega a la conclusión de que el reglamento argelino (DTR) resulta ser menos conservador, por lo que al reglamento de viento se refiere.

Carga de viento sobre paramentos laterales, viento lateral (0º), (180º).											
	Legislación española CTE						Legislación argelina DTR				
	C _{pi}	q _i (N/m ²)	C _{pe}	q _e (N/m ²)	Q _{neto} (N/m ²) = q _e - q _i	Valor absoluto Q _{neto}	C _{pi}	C _{pe}	Q _{neto} (N/m ²) = Cd*dyn*(C _{pe} - C _{pi})	Valor absoluto Q _{neto}	
A	0,7	491,83	-1,2	-1692,18	-2184,01	2184,01	0,8	-1	-1583,66	1583,66	
	-0,5	-351,30			-1340,87	1340,87	-0,5		-439,90	439,90	
B	0,7	491,83	-0,8	-1128,12	-1619,95	1619,95	0,8	-0,8	-1407,70	1407,70	
	-0,5	-351,30			-776,81	776,81	-0,5		-263,94	263,94	
C	0,7	491,83	-0,5	-705,07	-1196,90	1196,90	0,8	-0,5	-1143,75	1143,75	
	-0,5	-351,30			-353,76	353,76	-0,5		0	0	
D	0,7	491,83	0,7	987,10	495,27	495,27	0,8	0,8	0	0	
	-0,5	-351,30			1338,41	1338,41	-0,5		1143,75	1143,75	
E	0,7	491,83	-0,3	-423,04	-914,87	914,87	0,8	-0,3	-967,79	967,79	
	-0,5	-351,30			-71,73	71,73	-0,5		175,96	175,96	

Tabla 45 Comparación carga paramentos laterales

Carga de viento sobre cubierta cilíndrica, viento lateral (0°), (180°).										
	Legislación española CTE						Legislación argelina DTR			
	Cpi	qi (N/m ²)	Cpe	qe (N/m ²)	Qneta (N/m ²) = qe - qi	Valor absoluto Qneta	Cpi	Cpe	Qneta (N/m ²) = Cd*qdyn*(Cpe- Cpi)	Valor absoluto Qneta
A	0,7	491,83	0,25	352,51	-139,29	139,29	0,8	0,25	-483,89	483,89
	-0,5	-351,30			703,84	703,84	-0,5	659,86	659,86	
B	0,7	491,83	-0,85	-1198,63	-1690,46	1690,46	0,8	-0,85	-1451,69	1451,69
	-0,5	-351,30			-847,32	847,32	-0,5	-307,93	307,93	
C	0,7	491,83	-0,4	-564,06	-1055,89	1055,89	0,8	-0,4	-1055,77	1055,77
	-0,5	-351,30			-212,75	212,75	-0,5	87,98	87,98	

Tabla 46 Comparación carga de viento sobre cubierta cilíndrica

4.3 Reacciones exteriores módulo 2

A continuación, se muestran las reacciones máximas y mínimas calculadas en los vínculos exteriores de los pilares del módulo 2, correspondientes a la envolvente de las combinaciones de equilibrio de cimentación.

Pilar		CTE		DTR	
		Min. toneladas	Max. toneladas	Min. toneladas	Max. toneladas
1	Rx	-0,169	0,428	-0,227	0,388
	Ry	-8,617	12,037	-6,598	6,554
	Rz	-10,892	10,266	-5,109	7,966
2	Rx	-0,427	0,169	-0,389	0,228
	Ry	-8,614	12,031	-6,598	6,554
	Rz	-10,887	10,263	-5,109	7,966
3	Rx	-0,157	0,424	-0,231	0,392
	Ry	-12,024	8,258	-6,554	6,521
	Rz	-10,887	11,084	-5,243	7,874
4	Rx	-0,432	0,164	-0,392	0,231
	Ry	-12,043	8,270	-6,554	6,521
	Rz	-10,892	11,087	-5,243	7,874

Como se puede observar en la anterior tabla, prácticamente todas las reacciones en los vínculos exteriores de los cuatro pilares del módulo 2, tanto valores máximos como mínimos, son mayores en la legislación española (CTE) que en la legislación argelina (DTR).

Como ya se ha podido analizar en el anterior punto 4.2, estas variaciones en los valores de las reacciones, se deben a un reglamento de viento y nieve más permisivo en la legislación argelina (DTR C 2-47) que en la legislación española (CTE DB SE AE).

4.4 Desplazamiento peso propio módulo 2, comparación

En las siguientes imágenes se observa el desplazamiento que sufre la estructura del módulo. Se analiza el módulo 2 y no el módulo 1 que es de mayor tamaño y a priori más vulnerable a deformaciones porque el módulo 1 tiene en su pórtico frontal la estructura de refuerzo y los marcos sobre los cuales se instalarán el policarbonato que arriostran el modulo en el plazo zy (perteneciente al pórtico). Sin embargo, el módulo 2 juntamente con el resto de módulos intermedios (siendo este el de mayor tamaño) no tienen ningún elemento que arriostra sus pórticos en el plano xy.

Por lo tanto, la cumbrera del módulo 2 es la que alcanza mayores desplazamientos en el eje z.

La estructura bajo la legislación española CTE, alcanza desplazamientos de hasta 13mm en la cumbrera de sus pórticos, mientras que la estructura diseñada bajo legislación argelina DTR, alcanza la cifra de 12,7 mm. Dichas cifras corresponden a los pórticos del módulo 2.

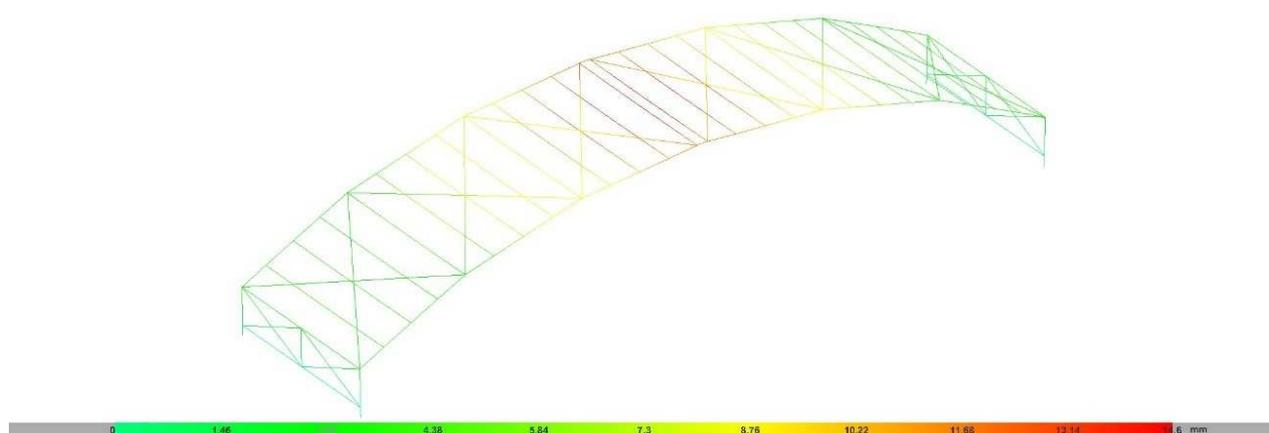


Imagen 116 Desplazamiento módulo 2 CTE

0	1,46	2,92	4,38	5,84	7,3	8,76	10,22	11,68	13,14	14,6	Unidades mm
---	------	------	------	------	-----	------	-------	-------	-------	------	-------------

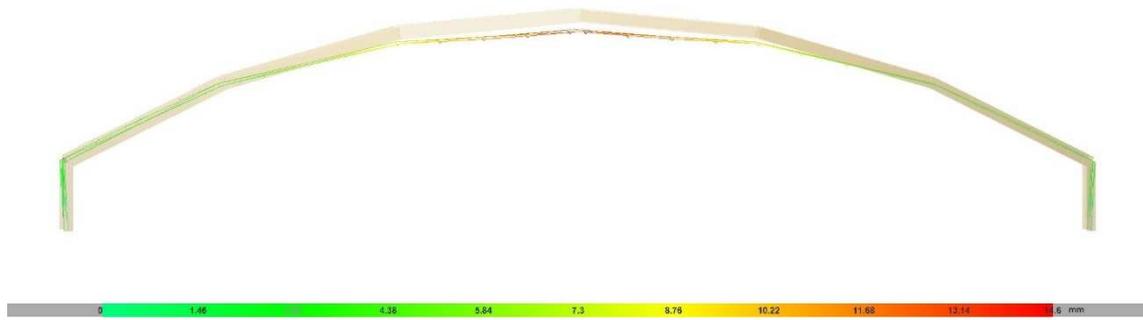


Imagen 117 Desplazamiento módulo 2 alzado CTE

0	1,46	2,92	4,38	5,84	7,3	8,76	10,22	11,68	13,14	14,6	Unidades mm
---	------	------	------	------	-----	------	-------	-------	-------	------	-------------

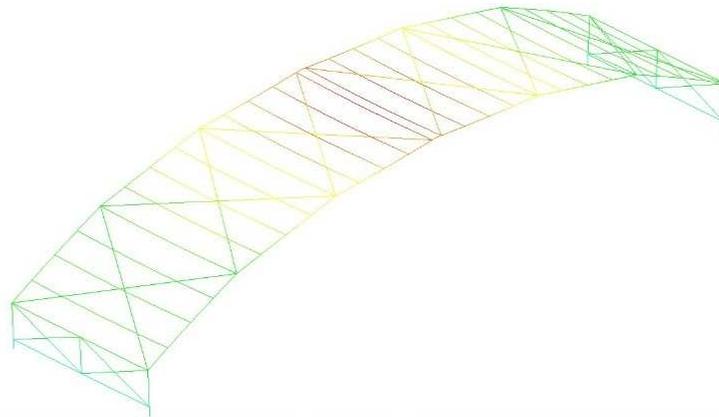


Imagen 118 Desplazamiento módulo 2 DTR

0	1,46	2,92	4,38	5,84	7,3	8,76	10,22	11,68	13,14	14,6	Unidades mm
---	------	------	------	------	-----	------	-------	-------	-------	------	-------------

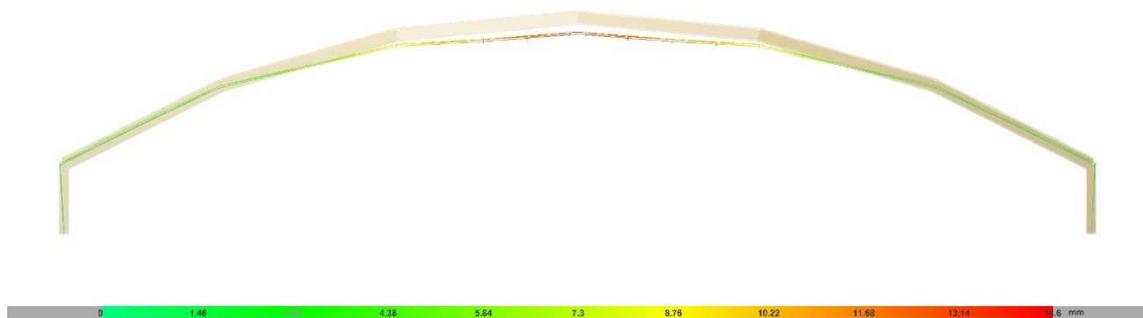


Imagen 119 Desplazamiento módulo 2 alzado DTR

0	1,46	2,92	4,38	5,84	7,3	8,76	10,22	11,68	13,14	14,6	Unidades mm
---	------	------	------	------	-----	------	-------	-------	-------	------	-------------

Capítulo IX: Análisis de legislaciones

1. Causa de las diferencias en los resultados de presión estática.
2. Cadencias de CTE DB SE-AE (legislación española).
3. Cadencias de DTR RNV 99 C 2-47 (legislación argelina)
4. Determinación de la acción del viento frente a huecos grandes.

1. Causa de las diferencias en los resultados de presión estática.

Entre los resultados del CTE y el DTR hay una diferencia en los valores de la presión estática que, producida por la acción del viento en las superficies de la estructura. El porcentaje promedio de variación entre los valores de presión estática entre los dos reglamentos es de 35%. Esta variación en los resultados de los diferentes reglamentos es producida por el Grado de aspereza del entorno definido por el coeficiente de exposición C_e .

El análisis de los resultados se encuentra en las tablas del Capítulo VIII punto 4.2 .

En la obtención de la presión estática q_e (CTE), q_j (DTR) se ven directamente involucrados el coeficiente de exposición C_e , coeficiente de presión C_p (CTE), $[C_{pe} - C_{pi}]$ (DTR) y la presión dinámica del viento q_b (CTE), $C_d \times q_{ref}$ (DTR). Siendo de las siguientes expresiones de donde se obtiene el valor de presión estática.

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_{pe} \quad [N/m^2], \quad q_i = q_b \cdot C_e \cdot C_{pi} \quad [N/m^2] \quad \text{(CTE)}$$

$$q_j = C_d \times q_{ref} \times C_e \times [C_{pe} - C_{pi}] \quad [N/m^2] \quad \text{(DTR)}$$

La presión dinámica es un valor contante directamente obtenido de la velocidad media del viento en la ubicación de la obra. Tanto para el cálculo mediante el CTE como para el cálculo con el DTR se elige la velocidad media de 25 m/s siendo esta la velocidad media del emplazamiento de la obra, de esta forma se pueden comparar los resultados.

El coeficiente de presión es un valor constante que depende de la forma y orientación de la superficie respecto al viento y por lo tanto tabulado. Hay pequeñas diferencias en los valores de este coeficiente entre los dos reglamentos, pero no son suficientes para producir un cambio significativo en los valores de la presión estática.

Por último, el coeficiente de exposición C_e , es el único parámetro que queda al criterio del proyectista. Según la ubicación se definen varias zonas, las cuales combinadas con la altura máxima de la estructura definen los diferentes valores de C_e . Algunas de las zonas que definen el grado de aspereza son: borde del mar, terreno rural llano sin obstáculos, zona rural con algunos obstáculos, zona urbana en general, industrial, forestal, zona de centro de negocios de grandes ciudades con profusión de edificios. Como se puede observar las definiciones de las diferentes zonas quedan expuestas a una mala interpretación produciendo la elección de un C_e que no corresponde con la realidad.

Según el **CTE DB SE AE** el coeficiente de exposición C_e se obtiene directamente de la siguiente tabla en función de la altura del punto considerado en la estructura. Básicamente el punto considerado de la estructura es el punto de máxima altura de la estructura.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Imagen 120 Coeficientes de exposición CTE

Por otro lado, el coeficiente de exposición en el **DTR C 2-47** se obtiene mediante la siguiente expresión en función del coeficiente de rugosidad C_r , coeficiente topográfico C_t y el factor del terreno K_T .

$$C_e(z) = C_t(z)^2 \times C_r(z)^2 \times \left[1 + \frac{7 \times K_T}{C_r(z) \times C_t(z)} \right]$$

Catégories de terrain	K_T	Z_0 (m)	Z_{min} (m)	ϵ
I En bord de mer, au bord d'un plan d'eau offrant au moins 5 km de longueur au vent, régions lisses et sans obstacles.	0,17	0,01	2	0,11
II Régions de culture avec haies et avec quelques petites fermes, maisons ou arbres.	0,19	0,05	4	0,26
III Zones industrielles ou suburbaines, forêt, zones urbaines ne rentrant pas dans la catégorie de terrain IV	0,22	0,3	8	0,37
IV Zones urbaines dont au moins 15% de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15 m.	0,24	1	16	0,46

Imagen 121 categorías de terreno DTR

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

$$C_r(z) = K_T \times \ln\left(\frac{z}{Z_0}\right) \text{ pour } z_{min} \leq z \leq 200 \text{ m}$$

Site	$C_r(z)$
site plat ($\Phi < 0,05$, voir § 4.3.4)	1
site aux alentours des vallées et oueds sans effet d'entonnoir	1
site aux alentours des vallées et oueds avec effet d'entonnoir	1,3
site aux alentours des plateaux	1,15
site aux alentours des collines	1,15
site montagneux	1,5

Imagen 122 Clasificación situación DTR

Aunque el valor C_e no se obtenga directamente en función de las zonas de exposición como en el caso de la legislación española, indirectamente si que se encuentra en función de las zonas de exposición. Esto es porque tanto el coeficiente C_t , C_r como el factor K_T se obtienen de las siguientes tablas que definen la categoría del terreno y la situación de la ubicación. Por lo tanto, como anteriormente se ha dicho, estas definiciones son interpretadas por el

proyectista, quedando totalmente definida por la más acertada o menos acertada interpretación del proyectista.

En conclusión, la diferencia entre los valores de C_e de las dos normativas viene dada por diferentes interpretaciones en el grado de aspereza. Pudiendo para una misma localización elegir un grado de aspereza en el CTE diferente al grado de aspereza del DTR provocando así el desfase en los resultados.

Así que es muy importante elegir correctamente el grado de aspereza, ya que de elegir un grado superior o uno inferior la estructura puede quedar insuficientemente dimensionada provocando un riesgo estructural o sobre dimensionada causando un incremento innecesario en el coste de la obra.

2. Cadencias de CTE DB SE-AE (legislación española).

El documento técnico CTE DB SE AE define la seguridad estructura y las acciones en la edificación.

Principalmente se han encontrado cadencias en las definiciones de las acciones de viento y en las acciones de nieve.

2.1. Cadencias en la definición de las acciones de viento

- Como en el anterior punto ya es analizado, las definiciones de los grados de aspereza son insuficientes, quedando la elección del coeficiente de exposición C_e bajo la interpretación del proyectista.

Grado de aspereza del entorno

- I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud
 - II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia
 - III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas
 - IV Zona urbana en general, industrial o forestal
 - V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura
-

Imagen 123 Grado aspereza del entorno CTE

- Las cargas de viento para los paramentos laterales solamente están definidas para las hipótesis de viento lateral a 0° y 180°. Para vientos frontales a 90° y 270° no se definen de ninguna forma como calcular la carga de viento en paramentos laterales, quedando a manos del proyectista como realizar el cálculo.

Una posible solución que es la que se ha optado en el presente proyecto es girar las zonas de viento de forma que en las hipótesis de viento a 90° y 270° la zona de viento D coincida con la cara en la cual incida el viento, en este caso sería el lateral d.

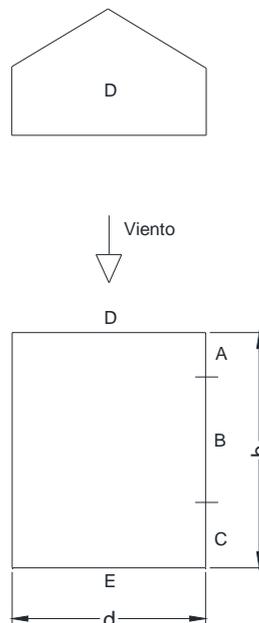


Imagen 124 Zonas de viento en paramentos laterales para viento frontal

Por lo tanto, para las hipótesis de viento 0° y 180° la zona D en la cual incide el viento se sitúa en el lateral con la cota b , tal y como se define en la tabla D.3 Paramentos verticales del CTE DB SE AE.

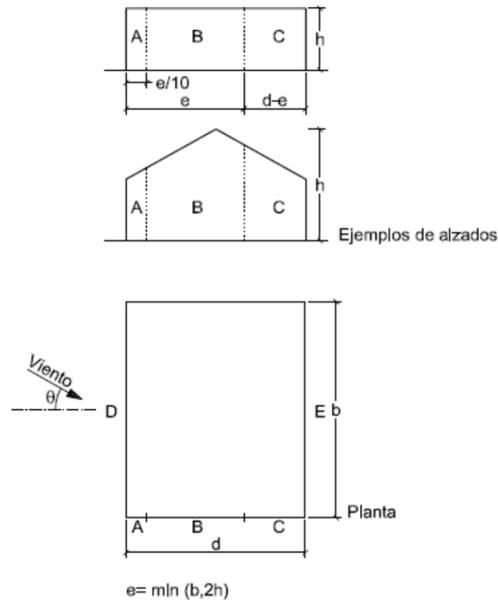


Imagen 125 Zonas de viento paramento laterales para viento lateral

- Para las hipótesis de viento frontal 90° y 270° no se define como obtener la carga de viento sobre cubierta cilíndrica, mientras sí que se define para hipótesis de viento lateral 0° y 180° . Sin embargo, en la legislación argelina (DTR) se indica que se debe de asumir para viento frontales la misma carga de viento que para situación de vientos frontales en cubierta a dos aguas, indicándose como hacer el símil.
- En marquesina a dos aguas no se explica que es el efecto del viento hacia arriba o hacia abajo que interpretación tiene.
- En el cálculo de la carga de viento para las hipótesis de marquesina no se explica el significado de “Efecto del viento hacia arriba o hacia abajo” qué significado tiene y como actúa sobre la cubierta.

Pendiente de la cubierta α	Efecto del viento hacia	Factor de obstrucción φ	Coeficientes de presión			
			$C_{p,10}$			
			Zona (según figura)			
			A	B	C	D
-20°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,8	1,6	0,6	1,7
	Arriba	0	-0,9	-1,3	-1,6	-0,6
	Arriba	1	-1,5	-2,4	-2,4	-0,6

Imagen 126 Extracto tabla coeficientes de presión exterior para marquesinas CTE

2.2. Cadencias en la definición de las acciones de nieve.

- No se distingue entre diferentes geometrías en las cubiertas de las edificaciones. El coeficiente μ (coeficiente de forma) solo se define para cubiertas horizontales y cubiertas ligeras con diferentes tipos de inclinación, sin hacer mención a cubiertas a dos aguas, un agua, cilíndricas o poligonales.
Sin embargo, en la legislación argelina si se define para cubiertas a dos aguas, un agua y cilíndricas de forma detallada e individualizada.

3. Cadencias de DTR RNV 99 C 2-47 (legislación argelina).

3.1. Cadencias en la definición de las acciones de viento.

- El coeficiente dinámico de viento C_d se obtiene de una gráfica situada en el capítulo 3 (Figure 3.2), la cual está en función de parámetros geométricos, los cuales se definen únicamente en un escueto esquema, sin diferenciar en si la dirección del viento frontal y lateral afecta al valor del C_d .

Por otro lado, en el eje y de la gráfica, en la cual se encuentra definida la altura de la construcción, no se encuentran representados los valores de C_d para alturas menores de 10m. Además, las líneas graficas que definen el C_d se encuentran demasiadas separadas una de otras como para obtener la suficiente precisión en el C_d en valores intermedio de b y h . Además, con la curvatura con las cuales están definidos los valores de C_d , se hace muy inexacto obtener valores de C_d para altura y largos que confluyan entre dos líneas graficas de C_d teniendo que definirla a mano. En el caso concreto de dicho proyecto la altura máxima de la estructura es menor a

los 10m definidos en la gráfica y la anchura de la estructura es de 26m lo que ocasiona definir un C_d no representado en la gráfica, con los consecuentes problemas de inexactitud.

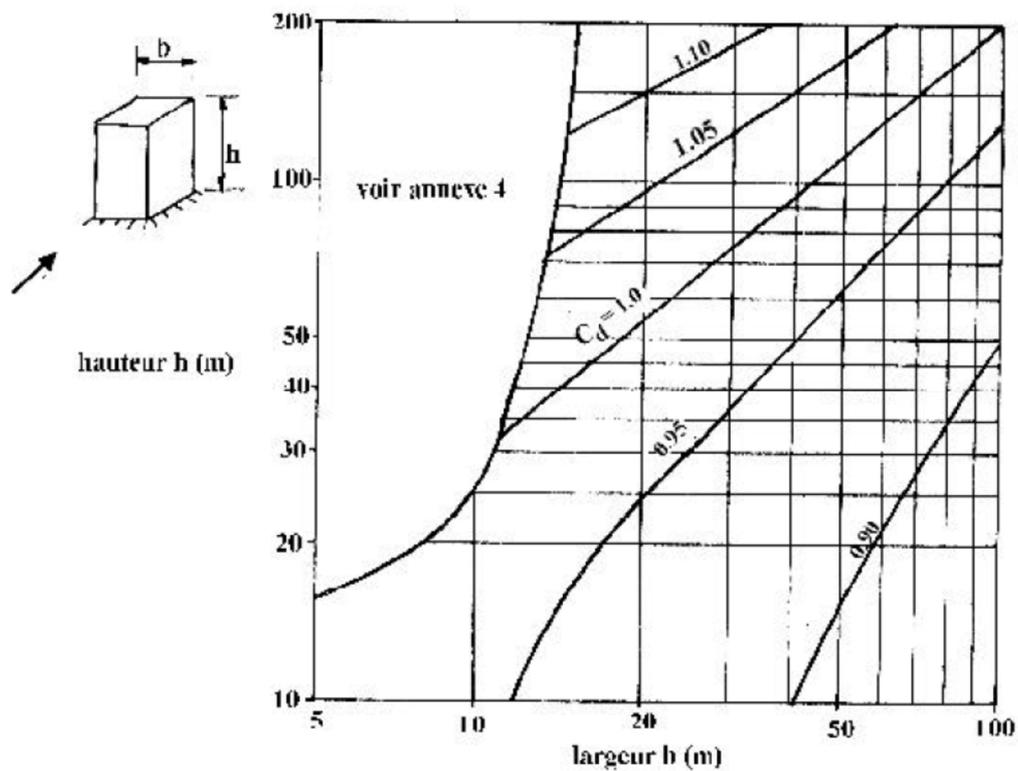


Imagen 127 Valores de C_d para estructuras metálicas DTR

*Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.

Una posible mejora sería tabular la gráfica de forma que se podría interpolar entre valores intermedios no representados de altura (h) y largo (b), de forma que se obtendría un valor de C_d mucho más exacto.

- En el cálculo del C_{pe} de los paramentos laterales nos encontramos con el mismo problema definido anteriormente en deficiencias del CTE. Nos encontramos con que la carga de viento en los paramentos laterales está definida para las hipótesis de

viento lateral de 0º y 180º pero no para vientos frontales de 90º y 270º. Que dando en manos del proyectista como obtener la carga de viento en los paramentos laterales para vientos frontales.

- La obtención del coeficiente de presión interior C_{pi} se realiza mediante una gráfica del capítulo 5, punto 2 (figure 5.15) en la cual quedan reflejado el C_{pi} en función del coeficiente de permeabilidad que relaciona los huecos abiertos de cada superficie con el total de superficie de la estructura. Lo que sucede es que, mientras por un lado se gana exactitud calculado el coeficiente de permeabilidad, por otro lado, se pierde exactitud a la hora de relacionar el coeficiente de permeabilidad con su correspondiente C_{pi} en la "figura 5.15", ya que se trata de una gráfica escueta si líneas graficas que representen valores intermedios.

$$\mu_p = \frac{\sum \text{des surfaces des ouvertures sous le vent et parallèles au vent}}{\sum \text{des surfaces de toutes les ouvertures}}$$

Coeficiente de permeabilidad

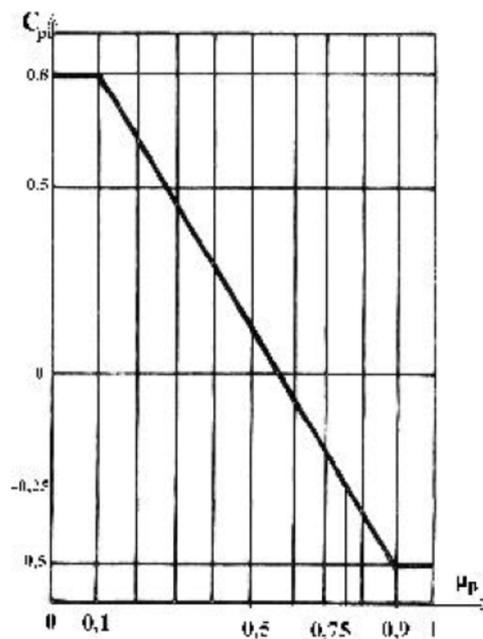


Imagen 128 Grafica con coeficientes de presión interna

**Calidad de documento escaneado, siendo la única calidad disponible.*

Una posible mejora sería tabular los valores como en la legislación española CTE, de forma que se pudiera interpolar ganando exactitud.

- Al igual que ocurre en la legislación española, el cálculo de la carga de viento para las hipótesis de marquesina no se explica el significado de “Efecto del viento hacia arriba o hacia abajo” qué significado tiene y como actúa sobre la cubierta.

4. Determinación de la acción del viento frente a huecos grandes

La norma española CTE tiene en el apartado 3.3.5, donde se define el cálculo de la carga en la cubierta como una marquesina cuando área total de los huecos de la superficie exterior exceda el 30% del área total del lado considerado.

Sin embargo, en la norma argelina DTR no se tiene esta definición, hecho que considero como una deficiencia en dicho reglamento, ya que tampoco se explica en qué momento pasar a calcular la acción del viento como una marquesina cuando se trata de huecos en la fachada. Así pues, la acción del viento se determinará como una marquesina a criterio del proyectista. Este hecho pueda dar lugar a calcular una carga por acción del viento insuficiente, generando un dimensionamiento de la estructura insuficiente

Capítulo X: Pliego de condiciones

1. Pliego de condiciones generales.
2. Pliego de condiciones técnicas.
3. Pliego de condiciones facultativas.
4. Pliego de condiciones económicas.
5. Pliego de condiciones legales.

1 Pliego de condiciones generales.

1.1 Alcance del presente pliego de condiciones.

El alcance del siguiente pliego de condiciones afecta a la obra, así como a los materiales utilizados, a los procesos de fabricación, procesos de montaje, inspecciones y pruebas necesarias durante la ejecución del proyecto.

Si durante el transcurso de la ejecución del proyecto recogido en este pliego de condiciones, fuese necesario realizar obras accesorias no especificadas en este mismo, la constructora tiene la obligación de realizarlas según su propio juicio.

La construcción de la cubierta está sujeta en todo momento a las condiciones definidas en este documento. Las condiciones expuestas en este pliego son de carácter obligatorio a todos los efectos. Siendo válidas en su totalidad. Si se realizaran modificaciones o estipulaciones deben de ser acordadas por ambas partes contratantes por escrito.

1.2 Documentos que definen el presente proyecto.

El presente proyecto queda definido por cada una de las siguientes partes.

La *memoria* define lo proyectado. Su carácter es únicamente informativo y carece de acciones judiciales.

Los *cálculos* exponen los métodos empleados para resolver las cuestiones y justificar las soluciones.

El *presupuesto* proporciona el coste del proyecto de forma clara y concisa.

Los *planos* son la representación gráfica de lo proyectado y las condiciones con las que debe de ejecutarse el proyecto son establecidas por el pliego de *condiciones*.

En el *estudio básico de seguridad* se recogen las medidas adecuadas frente los riesgos que conlleva la realización de la obra.

De todos los documentos, el pliego de condiciones es de carácter obligatorio y se encuentra sometido a acciones judiciales. En caso de contradicción entre los

documentos definidos anteriormente, prevalecerá lo escrito en el pliego de condiciones.

1.3 Nombramiento de la dirección facultativa.

Será necesario el nombramiento de un responsable que realice la función de Director Facultativo, se recomienda para el puesto un ingeniero.

En el Director Facultativo recaerán labores de dirección, control y vigilancia del montaje de la cubierta de este proyecto.

2 Pliego de condiciones técnicas.

2.1 Acondicionamiento del terreno.

2.1.1 Limpieza del terreno.

Las operaciones de limpieza se realizarán con el fin de garantizar unas condiciones de maniobrabilidad de maquinaria pesada y de seguridad con el fin de realizar la instalación con la seguridad suficiente.

2.2 Materiales y equipos. Condiciones técnicas exigibles.

2.2.1 Hormigón.

Sera de vital importancia que el tiempo de fraguado del hormigón se cumpla antes de la instalación de la cubierta, especificado en la instrucción de Hormigón estructural (BAEL-91 (R-99)).

La resistencia característica del hormigón a los 28 días será de 200kg/cm². Se tendrá en cuenta las especificaciones de la Instrucción de Hormigos Estructural (BAEL-91 (R-99)).

Habrà que cumplir las siguientes condiciones respecto el agua de amasado:

- Acidez: PH > 5. (UNE 7234:71).
- Substancias solubles < 15gr/l. (UNE 7130:58).
- Ion cloro para hormigón con armaduras < 6 gr/l. (UNE 7178:60).
- Grasas o aceites de cualquier clase < 15 gr/l. (UNE 7235).
- Demàs prescripciones de la BAEL-91 (R-99).

Se cumplirà las condiciones de la Instrucción de la Instrucción de Hormigón Estructural (BAEL-91 (R-99)).

2.2.2 Armaduras.

En las armaduras se empleará barras de acero corrugado de dureza B400S. Se tendrán en cuenta prioritariamente las determinaciones de la BAEL-91 (R-99).

2.2.3 Acero estructural.

Los productos de acero laminado en caliente que se utilizarán en la construcción de la estructura metálica, cumplirán especificaciones del DTR B C 2 44 (CCM97) “*Règles de conception et de calcul des structures en Acier*”.

Los perfiles de acero estructural cumplirán la norma de calidad UNE-EN 10034:1994: Perfiles I y H de acero estructural. Tolerancias dimensionales y de forma. (Versión oficial EN 10034:1993).

2.2.4 Pernos ordinarios.

Los pernos ordinarios serán de acero A4t.

Contaran con la norma de calidad UNE-EN ISO 898-1:2010 : Características mecánicas de los elementos de fijación de acero al carbono y acero aleado. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones con clases de calidad especificadas. Rosca de paso grueso y rosca de paso fino (ISO 898-1:2009).

Dichos pernos cumplirán las características y tolerancias determinadas en el DTR “Document technique règlementaire” Documento técnico reglamentario.

2.2.5 Pernos de alta resistencia.

Los pernos de alta resistencia serán de acero A10t.

Contaran con la norma de calidad UNE-EN ISO 898-1:2010 : Características mecánicas de los elementos de fijación de acero al carbono y acero aleado. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones con clases de calidad especificadas. Rosca de paso grueso y rosca de paso fino (ISO 898-1:2009).

Dichos pernos cumplirán las características y tolerancias determinadas en el DTR “Document technique règlementaire” Documento técnico reglamentario.

2.2.6 Pernos autoperforante.

Los pernos autoperforantes se utilizarán para la fijación de la cubierta y cerramiento. Irán provistos de una arandela de neopreno para asegurar la estanqueidad de las uniones.

2.3 Condición de particulares de recepción de materiales

Cuando el material sea recibido con el Certificado de Origen Industrial acreditando el cumplimiento de las normas, su recepción se realizará comprobando sus características aparentes.

2.3.1 Acero estructural

Las marcas que deben de llevar los productos laminados garantizando las características mecánicas y la composición química, son las correspondientes a la clase de acero especificado cumpliendo el CTE.

De cada lote se determinarán las características especificadas según normas de ensayo:

- dimensiones y tolerancias de laminación según CTE.
- límite elástico según norma UNE 7474-1
- resistencia a la tracción según norma UNE 7474-1
- alargamiento de rotura según la norma UNE 7474-1

Los productos laminados recibidos deberán de cumplir los siguientes aspectos según la norma UNE 30507-77:

- los perfiles laminados tendrán una superficie lisa característica de un producto laminado.
- se asegurará el buen aspecto de los perfiles: ausencia de herrumbre, mordeduras, duplicaciones y/o grietas.
- cada perfil podrá ser ensayado para verificar su calidad, según normas UNE 7292-72, UNE 36401-81, UNE 36300 Y UNE 36400.

2.3.2 Pernos de acero

Todos los pernos y tuercas de acero, tanto ordinarios como de alta resistencia, se acompañarán del Certificado de Origen Industrial que garantice su calidad de origen.

2.4 Cimentaciones

Las cimentaciones no son incumbencia de este proyecto, pero hay que asegurar que se cumplan una serie de condiciones de especial importancia para la culminación de la obra sin riesgo alguno para el montaje de la cubierta como para el posterior uso de ella.

2.4.1 Encofrado

Las operaciones de desencofrado y desmolde no empezarán hasta que la resistencia del hormigón no sea suficiente como para no sufrir deformaciones. Los elementos del encofrado deberán ser retirados sin producir daños.

2.4.2 Armaduras

Visualmente se inspeccionarán las armaduras antes del hormigonado, detectando así posibles errores en el armado. A la hora de la colocación de las armaduras en el encofrado estas irán limpias, exentas de óxido, grasa, pintura o cualquier otra sustancia capaz de disminuir la calidad de las cimentaciones. Las armaduras estarán correctamente situadas e inmovilizadas dentro del encofrado para evitar cambios en su posición a la hora del vertido del hormigón y su posterior fraguado.

2.4.3 Hormigón

Se realizará la comprobación de todas las amasadas según norma UNE 7103-56. Además, se realizará el ensayo de resistencia característica para determinar la calidad de cada lote y así realizar un control de la calidad del hormigón.

El vertido, compactación y curado del hormigón se realizará según las indicaciones de la norma que legisla en Argelia BAEL-91 (R-99).

2.5 Ejecución

2.5.1 Condiciones generales

La estructura será en su diseño conforme a lo definido en los planos constructivos del presente proyecto. No se podrán realizar ningún tipo de modificación en el diseño sin la autorización de la Dirección facultativa.

En el caso de que el contratista subcontrate parte de la ejecución del proyecto deberá demostrar la calificación de dicha subcontrata.

La ejecución se realizará conforme a lo señalado en el DTR. Para los posibles puntos que no hayan sido definidos en el proyecto se tendrán en cuenta o las normas UNE.

2.5.2 Preparación de los materiales

Todos los productos laminados serán preparados eliminando rebabas y marcas de su producción. Se realizarán operaciones de aplanado y enderezado de chapas y perfiles si fuese necesario.

En las operaciones de plegado en frío, se evitarán deformaciones, abolladuras y grietas que pongan en peligro la calidad de perfiles y chapas.

2.5.3 Perforaciones

Las perforaciones realizadas en perfiles y chapas tendrán un diámetro de 1mm mayor que el de las espigas de los pernos a introducir en dichas perforaciones.

2.5.4 Trazados

Los perfiles a la hora de cortarlos, serán marcados las dimensiones detalladas en los planos constructivos de dicho proyecto. Antes de proceder al trazado de los perfiles, se comprobarán que están exentos de abolladuras o torceduras. Con el fin de respetar las cotas de los planos y las tolerancias, el trazado se realizará por personal cualificado.

2.5.5 Marcas de taller

Las distintas partes de la estructura metálica se marcarán para facilitar la tarea de montaje. Con el fin de respetar el diseño, las marcas se realizarán por personal cualificado siguiendo los planos de construcción.

2.5.6 Uniones atornilladas

Las uniones atornilladas seguirán las directrices marcadas en la norma DTR.

El montaje con pernos ordinarios y con pernos de alta resistencia deberán seguir las siguientes directrices:

- las piezas a unir deberán de estar perfectamente planas.
- las superficies estarán sin pintar
- se colocarán arandelas de acero F-1130 de 4mm de espesor una bajo la cabeza y otra bajo la tuerca del perno.
- las tuercas se apretarán a fondo con medios mecánicos.
- el par de apriete de los pernos de alta resistencia se realizará siempre con llave dinamométrica según lo indicado por el fabricante.

2.5.7 Uniones soldadas

Se aplicará las directrices de la norma DTR y el apartado de ejecución de las soldaduras de dicho pliego de condiciones.

2.5.8 Corte de material

El corte de material se realizará mediante sierra, oxicorte, corte a presión con agua abrasiva. Cuando el corte se realice mediante oxicorte se tomarán las precauciones para evitar las tensiones parasitas causadas por el choque térmico. El corte con sierra o con agua a presión se deberá de resisar las aristas con el fin de que no queden cantos vivos, estos deberán de ser redondeados.

2.5.9 Montaje de la cubierta y cerramientos

Antes del montaje de la cubierta y cerramiento se comprobarán las dimensiones de la estructura metálica con los planos constructivos, ya sea el aplomados, nivelado o alineación de las correas.

Las chapas de policarbonato tanto de la cubierta como de los cerramientos serán cortadas y revisadas según los planos constructivos. Los cortes de las chapas deberán de ser limpios y perpendicular al plano de ellas. Si al realizar el corte se observan

esquirlas en los cantos, estos se rebajarán hasta dejar el canto limpio, cumpliendo con las tolerancias.

Se instalarán juntas de neopreno tanto en los pernos autotaladrantes como en las juntas entre placas, asegurando así la estanqueidad de la cubierta frente a la acción de la lluvia.

2.6 Soldaduras

2.6.1 Calidad soldaduras

La calidad de las soldaduras vendrá definida por la norma de calidad UNE 14011.

2.6.2 Soldadores

Los operarios encargados de realizar las soldaduras deberán estar homologados de acuerdo a lo especificado en la norma UNE-EN 287-1.

2.6.3 Material de aporte

Tanto las soldaduras por métodos automáticos o semiautomáticos realizadas en el taller, como las posteriores soldaduras realizadas mediante electrodo revestido en la obra deberán de realizarse con el correcto material de aporte.

El material de aporte deberá de poseer una resistencia a tracción y una resiliencia mayor o igual a la del metal base.

2.6.4 Ejecución de las soldaduras

Todas las piezas que se monten en taller se realizarán mediante soldadura MIG semiautomática. La soldadura por electrodo revestido se utilizará en remates puntuales realizados en la obra.

Se tomarán las medidas necesarias para evitar defectos en el cordón de soldadura.

2.6.5 Preparación de las superficies

Las superficies a soldar deberán de estar sin pintar y limpias de óxido, grasa u otras substancias.

Las preparaciones de bordes se realizarán conforme a la normativa.

2.6.6 Procedimiento de la soldadura

El contratista deberá de presentar una memoria de soldeo a la dirección facultativa del proyecto. En dicha memoria de soldeo se especificarán las técnicas a emplear, materiales de aporte, gases de protección etc.

Las piezas a soldar se fijarán con elementos suficientes para garantizar la inmovilidad durante el soldeo.

En la utilización de elementos de sujeción provisional, se llevará a cabo su eliminación con soplete sin golpes procurando no dañar la estructura. En la utilización de puntos de soldadura como unión provisional se intentará utilizar el menor puntos de soldadura posible para garantidas la inmovilidad de la pieza a soldar.

Las soldaduras que así este especificado en los planos del proyecto se esmerilaran para garantizar una buena presentación de la soldadura.

2.6.7 Inspección de las soldaduras

Las uniones soldadas se inspeccionarán conforme a lo expuesto en la norma UNE 14044.

Se tendrá constancia de las soldaduras realizadas por cada soldador.

Se realizará una inspección visual de las soldaduras, completándose la inspección con métodos no destructivos de detección de defectos en las soldaduras. La responsabilidad de la inspección cae sobre la dirección facultativa del proyecto.

2.7 Control de la estructura. Criterios de aceptación y rechazo

2.7.1 Control de la implantación de las cimentaciones

Los trabajos de cimentación deberán ser controlado por el director de la obra, supervisando los trabajos en la misma.

Se asegurará que la empresa encargada de las cimentaciones haya ejecutada con exactitud el plano de cimentación realizado por el proyectista.

Se realizarán los controles necesarios para asegurar que se han cumplido con las especificaciones del proyecto de cimentación. Se controlarán, así mismo dimensiones de la cimentación, niveles y plomadas.

Se verificará la correcta fragua del hormigón, alcanzando los niveles de resistencia del hormigón necesarios para la posterior instalación de la cubierta metálica.

2.7.2 Materiales

Los materiales recibidos tanto en el taller como en la obra serán aceptados una vez los ensayos de calidad hayan sido verificados.

El encargado de control será el responsable de que todos los aceros recibidos en el taller se han de la calidad estipulada en el apartado de condiciones de recepción de este mismo documento.

Así mismo se exigirán controles del hormigón recibido en la obra como del acero de armadura. La instalación de la cubierta no se llevará a lugar hasta que el encargado de control no haya verificado la calidad de estos mismos materiales según condiciones del pliego de condiciones.

2.7.3 Ejecución

La aceptación o el rechazo de la ejecución se ajustará a lo definido el DTR y en la norma UNE 76100. Además de las siguientes condiciones que deberán de cumplirse.

2.7.3.1 Control en taller

Las siguientes acciones deberán de verificarse antes de la aplicación de la pintura a la estructura metálica.

- *Soldadura*: se asegurará el aspecto y se inspeccionará los cordones de soldadura por parte del controlador de soldadura. Estas operaciones se realizarán según especifica el apartado de inspección de soldaduras.
- *Pernos*: se inspeccionarán las perforaciones realizadas en las uniones de anclaje según especifica el apartado Perforaciones dentro de Ejecución. Se comprobarán que todas las superficies donde se instales pernos de forma que se cumplan con el apartado de Ejecución de este mismo documento.

Una vez los aspectos anteriores hayan sido inspeccionados se aplicarán las capas oportunas de pintura y se verificara que todas las partes especificadas hayan sido pintadas con las correspondientes manos de imprimación, anti oxido y acabado como se detalla en el apartado de pintura de este documento.

2.7.3.2 Control en obra

El director de obra será el encargado de verificar los siguientes aspectos:

- cantidad y calidad de los elementos recibidos.
- supervisión del montaje y correcta ejecución del ensamblaje.
- se entregará por parte del constructor un ejemplar de la memoria de cálculos, mediciones, planos constructivos realizados por el proyectista y firmado por el contratista.
- solo después de la recepción y verificación de elemento podrá procederse a su montaje.

2.7.3.3 Control dimensional

Las tolerancias admitidas en la estructura, así como en las partes pre montadas en taller y otras partes adyacentes serán definidas por la norma UNE 76100.

Las tolerancias de partes adyacentes como por ejemplo la cimentación, serán consideradas como requisitos mínimos para el cumplimiento de la norma anterior.

2.8 Pintura

2.8.1 Materiales

Las pinturas utilizadas serán pinturas líquidas, preparadas a base de polvo de zinc

2.8.2 Preparación de las superficies

Se limpiarán las superficies de aceites y grasa.

Se eliminarán de las superficies posibles costras de laminación, óxidos o materiales extraños.

Se limpiará a superficies con el chorreado abrasivo que define la norma INTA 160.705.

2.8.3 Ejecución

Únicamente una vez finalizada la preparación de superficies se procederá a la aplicación de la pintura. Entre la fase de preparación de superficies y la primera capa de pintura debe de pasar el menor tiempo posible para evitar posibles oxidaciones en la superficie.

La pintura se aplicará mediante pistola.

La primera mano de pintura se trata de una imprimación antioxidante. Se pintarán todas las superficies menos los bordes a soldar dejando un margen sin pintar de 5cm desde el borde de la soldadura.

Una vez realizadas las uniones necesarias de soldadura se terminará de aplicar la primera mano de imprimación antioxidante en los bordes soldados, cubriendo completamente el margen de 5cm.

Una vez aplicado el tiempo de secado de la primera mano de imprimación antioxidante se podrá aplicar la segunda mano de pintura de fondo (primera capa de pintura de fondo).

2.8.4 Control

Se controlará el espesor de cada capa aplicada. Una vez aplicada la imprimación, la primera capa de pintura de fondo deberá de tener un espesor de 80micras en las superficies exteriores y de 40micras en superficies interiores.

Mediante inspección visual se inspeccionarán las superficies comprobando que no existan cuarteos, otros defectos o zonas sin pintar.

2.9 Transporte

El transporte de las piezas, de la estructura metálica se realizará mediante transporte marítimo.

Todas las piezas se embalarán correctamente para proteger sus superficies y así evitar arañazos e imperfecciones en sus superficies. Se empaquetarán en paquetes de madera para que una vez introducidos en los contenedores se arriestren evitando movimientos dentro del contenedor.

En el caso de elementos esbeltos como pueden ser los tirantes, vigas y correas deberán ser inmovilizados correctamente dentro de los paquetes para evitar así deformaciones permanentes.

2.10 Almacenamiento

El almacenamiento de los materiales debe de proteger a los mismos de los agentes atmosféricos, así como protegerlos de golpes y/o ralladuras.

El almacenamiento debe de realizarse de forma ordenada.

Se prestará especial cuidado a la hora de almacenar piezas esbeltas para evitar deformaciones permanentes.

Se formarán paquetes apilados con tacos de madera de 1150x60x60, se embalarán con plástico.

Las anteriores condiciones de almacenamiento deberán de cumplirse tanto en la zona de almacenamiento de taller como en la zona de almacenamiento en el lugar de recepción post transporte.

2.11 Puesta en obra. Descarga en obra.

Para la descarga del material se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se usará eslingas o bandas de nylon, y se protegerán los cantos de los materiales que estén expuestos a recibir posibles golpes o rozamientos.
- Se usará aparejo de carga y descarga adecuado.

- Se evitará cualquier arrastre entre materiales que pueda dañar las superficies de los mismos.

La descarga de las placas de la cubierta se realizará por paquetes y posteriormente una vez descargadas se repartirán por el emplazamiento.

2.12 Condiciones de seguridad en el trabajo

Se evitará el paso de personal por debajo de cargas suspendidas. Se acotarán zonas de trabajo.

Se supondrán los trabajos cuando el viento supere los 50km/h o si con velocidades inferiores se peligroso el trabajo, además de cuando llueva o nieve.

Los operarios irán provistos de todas las protecciones obligatorias que dicta la norma. Los operarios que trabajen en alturas utilizaran arneses de protección en todo momento y será su obligación asegurarse en todo momento.

Se cumplirán todas las condiciones reflejadas en la ordenanza general de seguridad e higiene en el trabajo y la ley de prevención de riesgos laborales.

2.13 Conservación y mantenimiento

Cada 10 años se renovará la capa de pintura de fondo de la estructura metálica. No obstante, si se realiza alguna operación de mantenimiento que requiera retirar la pintura o se encuentran con pequeños deterioros, se pintaran las zonas afectadas en el menor plazo posible.

El plazo de renovación de pintura, podrá ser alargado a juicio del propietario.

Cada 5 años se revisará la cubierta en busca de defectos de estanqueidad o sujeción de las placas de cubierta, siendo reparados en el menor plazo de tiempo posible.

Anualmente, antes de la época de lluvias ser realizara una limpieza de la cubierta, retirando hojarasca, tierra y otros posibles elementos.

3 Pliego de condiciones facultativas

3.1 Obligaciones de la empresa constructora.

El proyectista podrá exigir a la empresa constructora el programa de fabricación, así como los plazos de entrega.

Los incumplimientos de Seguridad e Higiene recaerán en la empresa constructora.

Todos los obreros deberán de ser asegurados de acuerdo con la legislación vigente.

3.2 Delimitación general de los agentes de la edificación.

3.2.1 Promotor

1. Será considerado promotor cualquier persona, física o jurídica, pública o privada, que, individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.
2. Son obligaciones del promotor:
 - Ostentar sobre el solar la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él.
 - Facilitar documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al director de obra las posteriores modificaciones del mismo.
 - Gestionar y obtener las preceptivas licencias y autorizaciones, así como suscribir el acta de recepción de la obra.
 - Entregar el adquirente, en su caso, la educación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las Administraciones competentes.

3.2.2 Proyectista

1. El proyectista es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica correspondiente, redacta el proyecto.

Podrán redactar proyectos parciales del proyecto, o partes que lo complementen, otros técnicos, de forma coordinada con el autor de éste.

Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros

documentos técnicos, cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto.

2. Son obligaciones del proyectista:

- Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de Ingeniero, según corresponda, y cumplir condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, designar al técnico redactor del proyecto que tenga la titulación profesional habilitante.
- Redactar el proyecto con sujeción a la normativa vigente y a lo que haya establecido en el contrato y entregarlo, con los visados que en su caso fueran preceptivas.
- Acordar, en su caso, con el promotor la contratación de colaboraciones parciales.

3.2.3 Constructor

1. El constructor es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al proyecto y al contrato.

2. Son obligaciones del constructor:

- Ejecutar la obra con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable y a las instrucciones del director de obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto.
- Tener la titulación o capacitación profesional que habilita para el cumplimiento de las condiciones exigibles para actuar como constructor.
- Designar al jefe de obra que asumirá la representación y técnica del constructor en la obra que por titulación o experiencia deberá tener la capacitación adecuada de acuerdo con las características y la complejidad de la obra.
- Asignar a la obra los medios humanos y materiales que su importancia requiera.
- Formalizar las subcontrataciones de determinadas partes o instalaciones que la obra dentro de los límites establecidos en el contrato.
- Firmar el acta de replanteo o de comienzo y el acta de recepción de la obra.
- Facilitar al director de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de obra ejecutada.

3.2.4 Director Facultativo

1. El director facultativo es el agente que dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.
2. Podrá dirigir las obras de los proyectos parciales de otros técnicos, bajo la coordinación del director de obra.
3. Son obligaciones del director facultativo:
 - Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de Ingeniero, según corresponda y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, designar al técnico director de la obra que tenga la titulación profesional habilitante.
 - Verificar el replanteo y la adecuación de la cimentación y de la estructura proyectadas a las características geotécnicas del terreno.
 - Resolver las contingencias que se produzcan en la obra y consignar el libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas para la correcta interpretación del proyecto.
 - Elaborar, a requerimiento del promotor o con su conformidad, eventuales modificaciones del terreno, que vengan exigidas por la marcha de la obra siempre que las mismas se adapten a las disposiciones normativas contempladas y observadas en la redacción del proyecto.
 - Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra o certificado final de la obra, así como conformar las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades de obra ejecutadas, con los visados que en su caso fueran preceptivos.
 - Elaborar y suscribir la documentación de la obra ejecutada para entregarla al promotor, con los visados que en su caso fuesen preceptivos.
 - Comprobar que los constructores disponen de los medios técnicos, humanos y de seguridad en la obra en conformidad con el proyecto.

3.2.5 Director de la ejecución de la obra

1. El director de la ejecución de la obra es el agente que siendo delegado por el director facultativo y bajo supervisión asume la función técnica de dirigir la ejecución material de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la

construcción y la calidad de lo edificado, formando parte de la dirección facultativa.

2. Son obligaciones del director de la ejecución de la obra:

- Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión.
- Verificar la recepción en obra de los productos de construcción, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas.
- Dirigir la ejecución material de la obra comprobando los replanteos, los materiales, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, de acuerdo con el proyecto y con las instrucciones del director de obra.
- Consignar en el libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas.
- Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de la obra, así como elaborar y suscribir las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades de obra ejecutadas.
- Colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación de la obra ejecutada, aportando los resultados del control realizado.
- Elaborar los documentos requeridos por el director facultativo en ordenar que éste pueda emitir la certificación final de la obra.

3.3 Propiedad

Toda la documentación proporcionada por la empresa constructora será de su propiedad, no pudiendo ser entregada a terceras personas y debiendo ser devuelta a su petición.

Hasta que el propietario haya abonado el importe total de la obra, será la empresa la propietaria de los materiales.

3.4 Comienzo de los trabajos

La empresa constructora tendrá la obligación de dar cuenta a la dirección facultativa por escrito el comienzo de los trabajos, antes de 24h de su inicio.

3.5 Recepción de los materiales

Si los materiales no se reciben en las condiciones adecuadas, la empresa constructora deberá de sustituirlos por otros.

3.6 Transporte

El transporte de todos los materiales desde el taller hasta la ubicación de la obra, podrá ser realizado a cargo de la empresa constructora a petición del propietario. En este caso la empresa constructora se encargará del embalaje y transporte. Se solicitarán consejos sobre las condiciones de transporte al proyectista.

A cargo del propietario podrá suscribir un seguro de transporte para los materiales. Dicho seguro, gestiones y comisiones correrán a cuenta del propietario.

3.7 Ejecución de los trabajos

La empresa constructora deberá de utilizar los materiales necesarios, cumpliendo con las condiciones del apartado de pliego de condiciones técnicas. Se realizarán todos los trabajos contratados conforme se especifica en el documento de condiciones.

La empresa constructora será la única responsable durante la ejecución de la obra.

Si se encontrara una situación en la cual la dirección facultativa considere que hay partes defectuosas en la construcción, se podrá exigir el desmantelamiento o demolición del defecto y se reconstruidas de nuevo.

3.8 Plazo de entrega

La constructora presentara los plazos de entrega que considere al propietario. Una vez el plazo de entrega es aceptado por las dos partes, estos se deberán de cumplir, pudiendo se penalizada la constructora por parte del propietario.

El plazo de entrega empieza en la aceptación del pedido y una vez realizado el pago inicial.

El plazo de entrega en la ejecución del proyecto es de 80 días laborables.

La obra se considerará entregada cuando se comunique al propietario que se encuentra a su disposición.

3.9 Prórrogas

Se considerarán prórrogas al plazo de entrega las siguientes causas:

- huelgas, conflictos laborales.
- imposibilidad de obtener materiales i/o mano de obra.
- desperfectos en piezas importantes por causas externas a la empresa constructora.
- documento i/o datos del proyecto no entregado.
- causas de fuerza mayor.
- condiciones meteorológicas adversas.

3.10 Recepción de la obra

La recepción de la obra se dará lugar en presencia del propietario, director facultativo de la obra y de la empresa constructora.

Una vez realizada la recepción de la obra empezará a correr el tiempo del plazo de garantía.

Una vez finalice el plazo de garantía fijado por la constructora se realizará la entrega definitiva de la obra. Por las tres partes (propietario, dirección facultativa y constructora) se hará constar en documentos de conformidad la recepción de la obra.

3.11 Garantía

El plazo de garantía será de 1 año, contando a partir de la recepción provisional de la obra.

La empresa constructora solo se verá obligada a reparar o reemplazar aquellos defectos originados durante la fabricación o mala calidad del material. Las reparaciones o el reemplazo se realizarán sin coste alguno para el propietario y en el menor plazo posible.

Si el propietario repara defectos por su cuenta, la garantía dejara de tener validez desde ese momento.

3.12 Responsabilidades

La empresa constructora se ve extinta de responsabilidad frente trabajos surgidos por órdenes provenientes del propietario, aunque hayan sido realizadas por personal a cargo de la constructora.

La empresa constructora declina cualquier otra responsabilidad de tipo económico que el propietario pueda exigirle.

3.13 Reclamaciones

La empresa constructora no aceptara reclamaciones en los siguientes casos:

- Si las condiciones de pago no se entendieron correctamente.
- Casos de fuerza mayor, condiciones meteorológicas adversas, contratiempos de fabricaciones, falta de materias primas, etc.

3.14 Seguro de los trabajos

La obra deberá estar asegurada por parte de la constructora durante el tiempo de ejecución.

Los riesgos asegurados y las condiciones de la póliza de seguros, será decisión de la constructora en conocimiento del propietario.

4 Pliego de condiciones económicas

4.1 Mediciones

Cada unidad de medida de obra será adoptada por la misma unidad que adoptada en el presupuesto.

Todas las mediciones ser realizaran conjuntamente con el contratista, levantándose las correspondientes actas.

4.2 Valoraciones

Las valoraciones de las unidades de las obras se realizarán multiplicando el número de valoraciones por el precio unitario asignado a cada una de ellas en el presupuesto.

También se tendrán en cuenta los gastos como honorarios y tasas originadas por las inspecciones, de las instalaciones. Por lo tanto, el contratista no tendrá derecho a reclamarlas.

4.3 Base fundamental

La empresa constructora deberá de percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que los trabajos se hayan realizados conforme los documentos del proyecto.

4.4 Garantías

Se le podrá exigir a la empresa constructora por parte de la dirección facultativa la presentación de referencias bancarias con la finalidad de asegurar el exactor cumplimiento del contrato.

4.5 Fianzas

La empresa constructora deberá de cumplir con una fianza del 10% del presupuesto.

Una vez se cumpla la recepción definitiva de la obra, se le devolverá a la empresa constructora el total de la fianza en un plazo menor a 8 días.

4.6 Presupuesto i precios

El presupuesto que se incluye en el proyecto es de carácter orientativo.

Si la obra resulta contener un mayor número de unidades causando un aumento en el presupuesto, la empresa constructora no podrá reclamar el aumento de unidades

Por lo tanto, la empresa constructora debe de haber realizado por su cuenta las mediciones necesarias y no podrá reclamar inexactitudes en el presupuesto.

Los precios estarán expresados en euros y todos serán calculados sobre los vigentes en la fecha de la realización del presupuesto.

En el caso de variaciones en los costes, se efectuará una revisión de los precios. Si se diera el caso de que disposiciones oficiales modificasen aranceles, impuestos u otros factores que pudieran modificar el precio final de la obra, el importe correrá por cuenta del propietario.

Se admite la revisión de los precios a causa de la variabilidad de los jornales, materiales y transportes. Tanto la empresa constructora como el propietario deberán de acortar el nuevo precio unitario antes de continuar con la ejecución de la obra.

4.7 Formas de pago

Las condiciones serán las que se establezcan en la aceptación del pedido. Los pagos se realizarán por parte del propietario. Su importe corresponderá al de las certificaciones mensuales establecidas.

La reclamación de cualquier clase no justificará la retención de los pagos ni su incumplimiento por parte del propietario.

Una vez terminada la obra se procederá al pago final. Desde el momento de la entrega de la obra al propietario y mientras no haya incumplimiento en los pagos se considerará que la obra es de su propiedad.

El retraso de pagos por parte del propietario, implicara la suspensión de las obligaciones por parte de la empresa hasta que se realicen los pagos retrasados.

4.8 Gastos de carácter general

Los gastos como energía eléctrica, maquinaria etc... durante el montaje de la obra correrán a cargo de la empresa constructora.

También correrán a cargo de la constructora tanto los gastos como el riesgo de las grúas, andamios y demás maquinas auxiliares, librando al propietario de responsabilidad alguna por averías o accidentes.

4.9 Responsabilidades y primas

Las penalizaciones podrían producirse por las siguientes causas:

- Incumplimiento en los plazos de entrega acordados.
- Suministros de materiales diferentes a lo acordado.

El importe de la prima por indemnización a causa de retrasos en las entregas parciales por parte de la constructora no esté justificado, será siempre el importe de la suma de perjuicios materiales.

4.10 Indemnización por daños de causa mayor

Se considerarán daños de causa mayor los siguientes:

- Incendios por causas naturales.
- Daños producidos por terremotos.
- Daños producidos por vientos.
- Daños causados por inundaciones.

El importe de la indemnización corresponderá al importe de las unidades de la obra ya ejecutadas o materiales acopiados a pie de obra.

4.11 Impuestos

Siempre que en las condiciones del proyecto no se estipule lo contrario los impuestos, arbitrio, gravámenes o multas correrán a cargo del propietario.

5 Pliego de condiciones legales

5.1 Jurisdicción

La empresa constructora es la responsable de ejecutar las obras tal conforme se define en los documentos del proyecto y en la ley de contratos de trabajo.

Sera responsabilidad de la empresa constructora tanto el vallado del solar, si se tratase de una propiedad sin delimitaciones físicas, como del vigilado de que no se realicen actos que mermen propiedades contiguas.

5.2 Recesión del contrato

Cualesquiera de las siguientes causas serán consideradas como suficientes como para la rescisión del contrato:

- Fallecimiento o incapacidad por parte del constructor.
- Quiebra de la empresa constructora.
- No comienzo de los trabajos por parte de la empresa constructora.
- Abandono de la instalación sin justificación.

En caso de recesión del contrato la liquidación se realizará mediante un contrato liquidatorio redactado tanto por el propietario como por la empresa constructora.

5.3 Resolución del contrato

Una vez establecido el contrato en firme no podrá ser anulado unilateralmente. Si el propietario desistiera de la obra encargada a la empresa constructora antes de su finalización y ésta no optase por acogerse a lo dispuesto en el artículo 1594 del código civil, quedarán a favor de ésta la parte de la obra realizada, los materiales que ya hubieran sido recibidos para la obra y aquellos que ya hubieran sido encargados, y las cantidades que se la hubieran pagado a cuenta del precio total de la misma, todo ello como evaluación anticipada de daños y perjuicios.

5.4 Litigios

Para solucionar cualquier diferencia que pudiera surgir durante o después de los trabajos a la interpretación, cumplimiento de las condiciones generales, cumplimiento de las condiciones de pago estipuladas, resolución del contrato o cualquier otra causa, las partes contratantes se someterán a la jurisdicción de un tribunal o juzgado formado por igual número de personas formado por las mismas y presidido por el director de la obra, y en último término, a los tribunales de justicia del lugar en que erradique la propiedad.

5.5 Daños y perjuicios

La empresa constructora no aceptara penalizaciones por daños y perjuicios cuando sean producidos como resultado de la ejecución de montajes. La empresa constructora tiene la obligación de adoptar todas las medidas de seguridad.

En caso de accidentes con motivo de la instalación de la cubierta, la empresa constructora se atenderá a lo dispuestos en la legislación vigente.

La empresa constructora será la responsable de los accidentes causados por inexperiencia o descuidos. Sera de su cuenta la obligación de indemnizar a quien corresponda.

Capítulo XI: Mediciones

1. Listado pórtico 1
2. Listado pórtico 2
3. Listado pórtico 3
4. Listado pórtico 4
5. Listado pórtico 5
6. Listado pórtico 6
7. Listado pórtico 7
8. Listado estructura al completo
9. Listado marco frontal pórtico 7
10. Listado marco frontal pórtico 1
11. Listado estructura refuerzo
12. Elemento transmisión electro-mecánica

1. Listado pórtico 1

Los resúmenes de medición del pórtico 1 se han realizado sin tener en el marco frontal.

1.1. Resumen medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Materia l (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Materia l (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	7.238	7.238		0.10	0.10	852.27	852.27		
			IPE 300, Con platabandas laterales	36.519			0.45		3549.7			
		IPE R	IPE 300	18.194	54.713		0.09	768.40	4318.1			
			R 20	117.28	117.28		0.03	289.24	289.24			
					179.23	0.695				5459.6		
Acero conformado	S235	#160x80x6	#160x80x6	171.26	171.26		0.45	0.45	3550.7	3550.7	3550.7	
					171.26		0.452					

1.2. Medición de superficies

Perfiles de acero: Medición de las superficies a pintar					
Tipo	Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
Acero laminado	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	1.000	7.238	7.238
		IPE 300, Con platabandas laterales	0.960	18.291	17.560
	IPE	IPE 300, Con platabandas laterales	0.940	18.228	17.134
		IPE 300	1.186	18.194	21.575
	R	R 20	0.063	117.285	7.369
		Subtotal			70.876
Acero conformado	#160x80x6	#160x80x6	0.459	171.264	78.599
		Subtotal			78.599
		Total			149.474

2. Listado pórtico 2

2.1. Resumen medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	5.424	5.424	174.121	0.081	0.081	0.651	638.68	638.68	5110.71
			IPE 300, Con platabandas laterales	35.367			0.437			3431.66		
		IPE	IPE 300	17.893	0.096		755.69					
			R	R 20	115.437		0.533	284.68				
Acero conformado	S235	#160x80x6			170.712		0.451		3539.33		3539.33	
				170.712		0.451		3539.33		3539.33		

2.2. Medición de superficies

Perfiles de acero: Medición de las superficies a pintar					
Tipo	Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
Acero laminado	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	1.000	5.424	5.424
		IPE 300, Con platabandas laterales	0.960	17.438	16.740
	IPE	IPE 300, Con platabandas laterales	0.940	17.929	16.853
		IPE 300	1.186	17.893	21.218
	R	R 20	0.063	115.437	7.253
Subtotal					67.489
Acero conformado	#160x80x6	#160x80x6	0.459	170.712	78.345
					Subtotal
Total					145.834

3. Listado pórtico 3

3.1. Resumen medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	4.316	4.316	169.845	0.065	0.065	0.617	508.21	508.21	4843.96
			IPE 300, Con platabandas laterales	34.196			0.422			3312.44		
		IPE	IPE 300	17.588	0.095		742.79					
			R	R 20	113.745		0.517	4055.23				
Acero conformado	S235	#160x80x6			170.158		0.449		3527.85		3527.85	
				170.158		0.449		3527.85		3527.85		

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Materia l (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Materia l (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Materia l (kg)
Acero conformado						170.158			0.449			3527.85

3.2. Medición de superficies

Perfiles de acero: Medición de las superficies a pintar					
Tipo	Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
Acero laminado	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	1.000	4.316	4.316
	IPE	IPE 300, Con platabandas laterales	0.960	16.604	15.940
		IPE 300, Con platabandas laterales	0.940	17.592	16.537
		IPE 300	1.186	17.588	20.856
	R	R 20	0.063	113.745	7.147
Subtotal					64.795
Acero conformado	#160x80x6	#160x80x6	0.459	170.158	78.091
	Subtotal				78.091
Total					142.886

4. Listado pórtico 4

4.1. Resumen medición

Resumen de medición													
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso			
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Materia l (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Materia l (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Materia l (kg)	
Acero laminado	S275	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	3.212			0.048			378.21			
					3.212		0.048			378.21			
			IPE 300, Con platabandas laterales	33.039			0.407			3193.55			
		IPE	IPE 300	17.286			0.093			730.05			
					50.325			0.500			3923.60		
			R 20	112.258			0.035			276.84			
R			112.258			0.035			276.84				
						165.795		0.583			4578.66		
Acero conformado	S235	#160x80x6		169.606			0.448			3516.40			
					169.606		0.448			3516.40			
					169.606			0.448			3516.40		

4.2. Medición de superficies

Perfiles de acero: Medición de las superficies a pintar					
Tipo	Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
Acero laminado	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	1.000	3.212	3.212
	IPE	IPE 300, Con platabandas laterales	0.960	15.735	15.105
		IPE 300, Con platabandas laterales	0.940	17.304	16.265
		IPE 300	1.186	17.286	20.498
	R	R 20	0.063	112.258	7.053
Subtotal					62.134
Acero conformado	#160x80x6	#160x80x6	0.459	169.606	77.838
	Subtotal				77.838
Total					139.972

5. Listado pórtico 5

5.1. Resumen medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Materia l (m)	Perfil (m ³)	Serie (m ³)	Materia l (m ³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Materia l (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	2.108	2.108		0.032	0.032		248.22	248.22	
			IPE 300, Con platabandas laterales	31.875			0.392			3073.69		
		IPE	IPE 300	16.985	48.860		0.091	0.483		717.33	3791.02	
			R 20	86.606			0.027			213.58		
			R	86.606			0.027			213.58		
				137.574			0.542			4252.82		
Acero conformado	S235	#160x80x6	#160x80x6	144.000			0.380			2985.52	2985.52	2985.52
					144.000			0.380			2985.52	

5.2. Medición de superficies

Perfiles de acero: Medición de las superficies a pintar					
Tipo	Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
Acero laminado	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	1.000	2.108	2.108
	IPE	IPE 300, Con platabandas laterales	0.960	14.844	14.250
		IPE 300, Con platabandas laterales	0.940	17.031	16.009
		IPE 300	1.186	16.985	20.141
	R	R 20	0.063	86.606	5.442
Subtotal					57.950
Acero conformado	#160x80x6	#160x80x6	0.459	144.000	66.086
	Subtotal				66.086
Total					124.036

6. Listado pórtico 6

6.1. Resumen medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Materia l (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Materia l (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Materia l (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	1.000	1.000		0.015	0.015		117.75	117.75	
			IPE 300, Con platabandas laterales	30.712			0.376			2954.46		
		IPE	IPE 300	16.679	47.392		0.090	0.466		704.42	3658.89	
			R 20	85.819			0.027			211.64		
		R			85.819		0.027			211.64		
						0.508				3988.28		
Acero conformado	S235	#160x80x6	#160x80x6	144.000	144.000	144.000	0.380	0.380		2985.52	2985.52	

6.2. Medición de superficies

Perfiles de acero: Medición de las superficies a pintar					
Tipo	Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
Acero laminado	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	1.000	1.000	1.000
	IPE	IPE 300, Con platabandas laterales	0.960	13.980	13.421
		IPE 300, Con platabandas laterales	0.940	16.732	15.728
		IPE 300	1.186	16.679	19.778
	R	R 20	0.063	85.819	5.392
		Subtotal			55.320
Acero conformado	#160x80x6	#160x80x6	0.459	144.000	66.086
		Subtotal			66.086
Total					121.406

7. Listado pórtico 7

Sin armadura frontal.

7.1. Resumen medición

Resumen de medición													
Material			Perfil	Longitud			Volumen			Peso			
Tipo	Designación	Serie		Perfil (m)	Serie (m)	Materia l (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Materia l (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Materia l (kg)	
Acero laminado	S275	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	1.316	1.316		0.020	0.020	0.496	154.96	154.96		
			IPE 300, Con platabandas laterales	29.548			0.361			2835.09			
			IPE 300	16.378			0.088			691.71			
		IPE		45.927		0.449	3526.80						
			R 20	85.059		0.027	209.77						
R		85.059		0.027	209.77								
					132.302						3891.53		
Acero conformado	S235	#160x80x6	#160x80x6	144.000	144.000	144.000	0.380	0.380	0.380	2985.52	2985.52	2985.52	

7.2. Medición de superficies

Perfiles de acero: Medición de las superficies a pintar						
Tipo	Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)	
Acero laminado	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	1.000	1.316	1.316	
		IPE 300, Con platabandas laterales	0.960	13.114	12.590	
	IPE	IPE 300, Con platabandas laterales	0.940	16.434	15.448	
		IPE 300	1.186	16.378	19.422	
	R	R 20	0.063	85.059	5.344	
		Subtotal			54.120	
Acero conformado	#160x80x6	#160x80x6	0.459	144.000	66.086	
		Subtotal			66.086	
Total						120.206

8. Listado estructura al completo

8.1. Resumen medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	35.385	35.385	1149.41	0.53	0.53	4.268	4166.58	4166.58	33506.2
			IPE 300, Con platabandas laterales	231.256			2.84			22350.6		
		IPE	IPE 300	121.005	352.261		0.65	5110.39		27461.0		
			R	R 20			761.771	0.23		1878.64	1878.64	
Acero conformado	S235	#160x80x6	#160x80x6	1113.740	1113.740	1436.109	2.942	2.942	3.474	23090.91	23090.91	27270.30
			# 60x60x4	73.232			0.063			490.84		
			# 80x80x6	20.919			0.035			276.07		
		# Propias	# 160x80x6	36.053	130.204		0.095	747.48		1514.38		
			O Propias	O D150x5			30.781	0.070		550.35		
				O D100x5			135.412	0.202		1586.25		
		O D170x5		25.972	0.067		528.42					
					192.165		0.339	2665.01				

8.2. Medición de superficies

Perfiles de acero: Medición de las superficies a pintar					
Tipo	Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
Acero laminado	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	1.000	35.385	35.385
		IPE	IPE 300, Con platabandas laterales	0.960	110.006
	IPE 300, Con platabandas laterales		0.940	121.250	113.975
	IPE 300		1.186	121.005	143.487
	R	R 20	0.063	761.771	47.863
Subtotal					446.317
Acero conformado	#160x80x6	#160x80x6	0.459	1113.740	511.131
		# 60x60x4	0.226	73.232	16.546
	# Propias	# 80x80x6	0.299	20.919	6.253
		# 160x80x6	0.459	36.053	16.546
		O Propios	O D150x5	0.471	30.781
	O D100x5		0.314	135.412	42.541
	O D170x5		0.534	25.972	13.871
Subtotal					621.394
Total					1067.711

9. Listado marco frontal pórtico 7

9.1. Resumen medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero conformado	S235	# Propias	# 60x60x4	37.942			0.032			254.31		
			# 80x80x6	20.919			0.035		276.07			
					58.861			0.068		530.38		
						58.861			0.068			530.38

9.2. Medición superficie

Acero conformado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
# Propias	# 60x60x4	0.226	37.942	8.573
	# 80x80x6	0.299	20.919	6.253
Total				14.826

10. Listado marco frontal pórtico 1

10.1. Resumen medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero conformado	S235	# Propias	# 160x80x6	36.053			0.095			747.48		
			# 60x60x4	35.290			0.030		236.53			
					71.343			0.125		984.01		
						71.343			0.125			984.01

10.2. Medición superficies

Acero conformado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
# Propias	# 160x80x6	0.459	36.053	16.546
	# 60x60x4	0.226	35.290	7.974
Total				24.519

11. Listado estructura refuerzo pórtico 1

11.1. Resumen medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	R	R 20	45.562	45.562	45.562	0.014	0.014	0.014	112.36	112.36	112.36
Acero conformado	S235	O Propios # Propias	O D150x5	30.781	192.165	228.218	0.070	0.339	0.435	550.35	2665.01	3412.49
			O D100x5	135.412			0.202			1586.25		
			O D170x5	25.972			0.067			528.42		
			# 160x80x6	36.053			0.095			747.48		
			# Propias	36.053	0.095		747.48					

11.2. Medición superficies

Perfiles de acero: Medición de las superficies a pintar					
Tipo	Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
Acero conformado	O Propios	O D150x5	0.471	30.781	14.505
		O D100x5	0.314	135.412	42.541
		O D170x5	0.534	25.972	13.871
		# Propias # 160x80x6	0.459	36.053	16.546
	Subtotal				
Acero laminado	R	R 20	0.063	45.562	2.863
	Subtotal				
Total					90.326

12. Elementos transmisión electromecánica

Material		Unidades por carro	Unidades totales
Tipo	Descripción		
Motor electrico	Motoreductor sinfin cornea con prerreducción. Motor AM 90 2,5CV 4P 220/380V 50Hz	-	2
Engranaje	Modulo 12, 12 dientes, acero al carbono, dentado recto.	-	2
Ejes	Ejes ruedas1	1	24
Rodamientos. DIN SIO 355 / DIN 720	Rodamientos cónicos 32210-A	6	144
Ruedas	Ruedas acero al carbono, tratamiento termico.	3	72
Railes	Perfiles HEB 140	-	324 m
Cuerpo	Perfiles UPN 240	-	30 m

Capítulo XII: Presupuesto

1. Acero estructura
2. Pintura estructura
3. Cerramiento
4. Tornillería
5. Transmisión electro-mecánica
6. Maquinaria montaje
7. Transporte
8. Total

1. Acero estructura

Material		Descripción	Serie	Perfil	Peso			Importe (EUR)		
°	Designación				Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)			
Acero laminado	S275JR	Pilares	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	4166,58	4166,58	33506,2	41.882,75 €		
		Vigas pórticos	IPE	IPE 300, Con platabandas laterales	22350,6	27461				
				IPE 300	5110,39					
		Tirantes	R	R 20	1878,64	1878,64				
Precio acero laminado S275JR (EUR / Kg)							1,25 €			
Acero conformado	S235	Correas, Cerramientos laterales	# Tubo rectangular	# 160x80x6	23090,91	24605,29	27270,3	39.541,94 €		
				# 60x60x4	490,84					
				# 80x80x6	276,07					
		Marcos frontales		# 160x80x6	747,48					
				Estructura triangular refuerzo	O Tubo circular	O D150x5			550,35	2665,01
						O D100x5			1586,25	
		O D170x5	528,42							
Precio acero conformado S235JR (EUR / Kg)							1,45 €			
Total								81.424,69 €		

2. Pintura Estructura

Perfiles de acero: Medición de las superficies a pintar						
Tipo	Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)	Volumen pintura (L)
Acero laminado	HEB	HE 240 B, Con platabandas laterales	1,00	35,39	35,39	178
	IPE	IPE 300, Con platabandas laterales	0,96	110,01	105,61	
		IPE 300, Con platabandas laterales	0,94	121,25	113,98	
		IPE 300	1,19	121,01	143,49	
	R	R 20	0,06	761,77	47,86	
	Subtotal					
Acero conformado	#160x80x6	#160x80x6	0,46	1.113,74	511,13	
	# Propias	# 60x60x4	0,23	73,23	16,55	
		# 80x80x6	0,30	20,92	6,25	
		# 160x80x6	0,46	36,05	16,55	
	O Propios	O D150x5	0,47	30,78	14,51	
		O D100x5	0,31	135,41	42,54	
		O D170x5	0,53	25,97	13,87	
	Subtotal					621,39
Total					1.067,71	

Material	Nº capas	Precio (€ / L)	Volumen pintura por capa (L)	Subtotal (€)
Imprimación epoxi rica en zinc	1	18	178	3204
Pintura de acabado brillante antioxidante	2	16		5696
Total (€)				8900

3. Cerramiento

Material		Descripción	Unidades	Cantidad	Unidad medida (Cantidad)	Precio unidad (EUR)	Importe (EUR)
Tipo	Designación						
Policarbonato celular	PC Celular 2UV incolore	13.500 X 16 X 2100 mm	6	170,1	m2	8,85	1.505,39 €
		12.250 X 16 X 2100 mm	6	166,95		8,85	1.477,51 €
		12.900 X 16 X 2100 mm	6	162,54		8,85	1.438,48 €
		12.500 X 16 X 2100 mm	6	157,5		8,85	1.393,88 €
		12.150 X 16 X 2100 mm	6	153,09		8,85	1.354,85 €
		11.800 X 16 X 2100 mm	6	148,68		8,85	1.315,82 €
		11.400 X 16 X 2100 mm	6	143,64		8,85	1.271,21 €
		12.000 X 16 X 2100 mm	6	75,6		8,85	669,06 €
		6.000 X 16 X 2100 mm	6	126		8,85	1.115,10 €
Cinta aluminio porosa, Pack (10rollos)		Ancho 38 mm	330	330	m lineales	0,45	148,50 €
Perfil universal aluminio bruto		Longitud 6m	65	390	m lineales	2,54	990,60 €
Goma perfil universal			780	780	m lineales	0,38	296,4
Botón propileno fijación		D 16 mm	500	500	Ud.	0,25	125,00 €
Transporte		Tráiler área Castellón	1	1	Ud.	410	410,00 €
Total							13.511,79 €

4. Tornillería

Material		Descripción	Unidades por portico	Unidades totales	Precio unidad (€)	Subtotal (€)
Tipo	Designación					
Tornillo hexagonal DIN 933 calidad 8.8	M16	Uniones correas	64	448	0,253	113,344
	M18	Uniones entre porticos. Uniones tensores	150	1050	0,261	274,05
	M20	Uniones portico - carro.	40	280	0,27	75,6
Arandela sin bisel DIN 125	M16	Uniones correas	128	896	0,021	18,816
	M18	Uniones entre porticos. Uniones tensores	300	2100	0,022	46,2
	M20	Uniones portico - carro.	80	560	0,024	13,44
Tuerca autoblocante DIN 985.8	M16	Uniones correas	64	448	0,06	26,88
	M18	Uniones entre porticos. Uniones tensores	150	1050	0,075	78,75
	M20	Uniones portico - carro.	40	280	0,095	26,6
Tuerca autotaladrante hexagonal, montado con arandela neopreno. DIN 7504-K	5,5 X 22+P16	Instalacion cubierta policarbonato celular	-	3000	0,028	84
Total						757,68

5. Transmisión electro-mecánica

Material		Unidades por carro	Unidades totales	Precio unidad (€)	Subtotal (€)
Tipo	Descripción				
Motor electrico	Motoreductor sinfin cornoa con preredución. Motor AM 90 2,5CV 4P 220/380V 50Hz	-	2	725,4	1450,8
Engranaje	Modulo 12, 12 dientes, acero al carbono, dentado recto.	-	2	16,5	33
Ejes	Ejes ruedas1	1	24	14	336
Rodamientos. DIN SIO 355 / DIN 720	Rodamientos cónicos 32210-A	6	144	15,02	2162,88
Ruedas	Ruedas acero al carbono, tratamiento termico.	3	72	9,57	689,04
Railes	Perfiles HEB 140	-	324 m	6,05 €/m	1960,2
Cuerpo	Perfiles UPN 240	-	30 m	6,0 €/m	178,56
Total					6810,48

6. Maquinaria montaje

Material	Capacidad	Descripcion	Unidad	Rendimiento	Precio unitario	Cantidad	Importe €
Grua autopropulsada con brazo telescópico	Elevación de 30 t a 27 m de altura máxima	Equipo y maquinaria	12 h	1,141	67	2	1834,8
Cesta elevadora de brazo articulado	Altura máxima trabajo 16 m	Equipo y maquinaria	72 h	1,141	120,6	2	13814,4
Total							15649,2

7. Transporte

Tipo	Descripcion	Capacidad	Precio unitario	Cantidad	Importe €
Marítimo	Origen: puerto Castellón de la Plana (España), Destino: puerto de Alger (Algeria)	Contenedor 20 pies	843	2	1686
Terrestre	Almazora-Puerto Castellon de la Plana, Alger - Boufarik	Trailer	653	1	653
Total					2339

8. Total

Capítulo	Importe (€)
I Estructura	81.424,69
II Pintura estructura	8.900
III Cerramiento	13.511,79
IV Tornillería	757,68
V Transmisión electro-mecánica	6.810,48
VI Maquinaria montaje	15.649,2
VII Transporte	2.339
Subtotal	129.392,84
20% Gastos generales	25.878,57
6% Beneficio industrial	7.763,57
7% Redacción del proyecto y dirección de obra	9.057,5
21% IVA	27.172,5
Presupuesto de ejecución	199.264,98

Asciende el presupuesto de ejecución a la expresada cantidad de CIENTO NOVENTA Y NUEVE MIL DOS CIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS Y NOVENTA Y OCHO CENTIMOS.

Capítulo XIII: Conclusiones

Conclusiones

En el presente proyecto se ha realizado el diseño, cálculo y optimización de una estructura metálica retráctil, que realizará la función de cubierta para una piscina.

Mediante el estudio comparativo realizado, de las normativas vigentes en España y Argelia, se han obtenido una serie de conclusiones que a continuación se detallarán.

Cabe recordar que el motivo de proyectar dicha cubierta es el de alargar la temporada de utilización de la instalación de una piscina y así poder garantizar en su interior unas condiciones óptimas para la realización de la actividad deportiva en cualquier estación del año.

Tras la realización del presente proyecto se llegan a las siguientes conclusiones.

- 1 Tanto la normativa española CTE (Código Técnico de la Edificación) como la normativa argelina DTR (Document Technique Règlementaire) no están preparados para el cálculo de las acciones sobre cubiertas cilíndricas. Aunque si es cierto, que para cubiertas cilíndricas hay un punto en las normativas, donde el cálculo de la carga sobre cubierta para viento lateral es explicado, se realiza de forma muy escueta.
- 2 Para hipótesis de viento frontal, la normativa española CTE no tiene ningún apartado donde se detalle cómo realizar el cálculo de viento sobre cubierta cilíndrica. Sin embargo, en la normativa argelina DTR si se indica que se debe de realizar una aproximación a una cubierta a dos aguas para hipótesis de viento frontal.

- 3 En el capítulo IX “Análisis de legislaciones” se analizan las legislaciones en profundidad, llegando a las siguientes conclusiones:
- Tanto en la norma de edificación española como argelina se encuentra con una cadencia en la obtención de los coeficientes de presión exterior (C_{pe}), ya que para las hipótesis de viento frontal en paramento laterales no se definen las zonas de viento. Esta deficiencia en los dos reglamentos no es fruto de la casualidad, sino de que los dos son extracto del eurocódigo nº3.
 - La obtención de la carga de nieve en la norma española, no distingue entre diferentes geometrías de cubierta, hecho que si se da en la norma argelina.
 - La obtención de coeficiente de exposición (C_e) en la norma española, se encuentra insuficientemente definido, quedando su elección bajo la interpretación del proyectista.
 - En la norma de edificación argelina, tanto la obtención de coeficiente dinámico del viento (C_d) como el coeficiente de presión interior (C_{pi}) son obtenidos de gráficas escuetas donde no se pueden elegir valores con exactitud. Una solución a este problema sería tabular las gráficas como en la norma española, ganando en exactitud pudiendo interpolar valores intermedios.
- 4 En el capítulo VIII se ha realizado un análisis detallado el cual concluye en la siguiente conclusión. Los resultados obtenidos tanto en la estructura bajo normativa española como en la estructura bajo normativa argelina dan como conclusión que la normativa española (CTE) es más restrictiva que la normativa argelina (DTR). Por lo tanto, aunque la obra se realizará en Argelia, el dimensionado de la estructura final se ha realizado bajo la normativa española de

esta forma nos situamos del lado de la seguridad. Esto no significa que la normativa argelina tenga defectos de seguridad.

- 5 Tal y como se analiza en el punto 3.1 del capítulo VIII “Resultados” la estructura de refuerzo del diseño inicial proporcionado desde el taller no cumplía las exigencias de capacidad portante y aptitud al servicio. Por lo que se diseña una nueva estructura de refuerzo detallada y analizada en el punto 3.2 y 3.3 del mismo capítulo.



Volumen II Anexos

Proyecto de cálculo y dimensionado de estructura para cubierta retráctil.

Análisis de caso comparativo utilizando las legislaciones europea y argelina

UNIVERSITAT JAUME I

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

AUTOR/A

Javier Martí Miralles

DIRECTOR/A

Alejandro Doménech Monforte

Castellón, Noviembre de 2016

ÍNDICE DE CONTENIDO

ANEXO I: Módulo 1 CTE.....	5
1 Módulo nº1	7
1.1 Pilares HEB.....	7
1.2 Vigas pórtico IPE 300.....	30
1.3 Correas # 160x80x6 mm.....	69
1.4 Tirantes de cubierta, barras R 20 mm.....	108
1.5 Tirante laterales	112
1.6 Cerramiento lateral	115
1.7 Marco frontal	128
1.8 Estructura triangular de refuerzo.....	138
1.9 Tirante refuerzo estructura triangular	171
ANEXO II: Módulo 2 CTE.....	177
1 Módulo nº2	179
1.1 Pilar HEB 240 -2.....	179
1.2 Vigas pórtico IPE 300.....	192
1.3 Correas # 160x80x6 mm.....	229
1.4 Tirantes de cubierta, barras R 20 mm.....	266
1.5 Tirantes laterales, barras R 20 mm	269
1.6 Perfiles paramento lateral, # 160x80x6 mm.....	272
ANEXO III: Módulo 7 CTE.....	285
1 Modulo nº7	286
1.1 Pilares HEB.....	286
1.2 Correas # 160x80x6 mm.....	298
1.3 Vigas pórtico IPE 300.....	336
1.4 Tirantes de cubierta, barras R 20 mm.....	374
1.5 Marco frontal	377
ANEXO IV: Módulo 1 DTR.....	389
1 Módulo nº1	391
1.1 Pilares HEB.....	391
1.2 Vigas pórtico IPE 300.....	416
1.3 Correas # 160x80x6 mm.....	455
1.4 Tirantes de cubierta, barras R 20 mm.....	481
1.5 Tirante laterales	484

Cálculo de estructura metálica retráctil y comparativa entre normativas		Anexos	Índice de contenido
1.6	Cerramiento lateral		487
1.7	Marco frontal		500
1.8	Estructura triangular de refuerzo.....		511
1.9	Tirante refuerzo estructura triangular		553
ANEXO V: Módulo 2 DTR			563
1	Módulo nº2		565
1.1	Pilar HEB 240 -2.....		565
1.2	Vigas pórtico IPE 300.....		578
1.3	Correas # 160x80x6 mm.....		615
1.4	Tirantes de cubierta, barras R 20 mm.....		642
1.5	Tirantes laterales, barras R 20 mm		645
1.6	Perfiles paramento lateral, # 160x80x6 mm		648
ANEXO VI: Módulo 7 DTR.....			661
1	Módulo nº7		663
1.1	Pilares HEB.....		663
1.2	Correas # 160x80x6 mm.....		676
1.3	Vigas pórtico IPE 300.....		702
1.4	Tirantes de cubierta, barras R 20 mm.....		741
1.5	Marco frontal		744
ANEXO VII: Tirante de refuerzo			757
1	Comprobación ELU del tirante de refuerzo		759
ANEXO VIII: Pilar pórtico 1			765
1	Comprobación ELU pilar HEB pórtico 1.....		767

ANEXO I: Módulo 1 CTE

1. Pilares HEB
2. Vigas pórtico IPE 300
3. Correas #160x80x6 mm
4. Tirantes de cubierta R 20mm
5. Tirantes laterales R 20mm
6. Cerramiento lateral
7. Marco frontal
8. Estructura triangular de refuerzo
9. Tirante de refuerzo estructura triangular

1 Módulo nº1

A continuación, se muestran las comprobaciones E.L.U. (Estados Límite Últimos) del módulo nº1 bajo la legislación española CTE.

La estructura de módulo 1 al ser simétrica tanto respecto el plano yz como del plano zx se obtendrán las comprobaciones de los elementos de medio pórtico sometidas a mayores esfuerzos.

1.1 Pilares HEB

Por simetría se analizarán los pilares correspondientes a medio modulo.

- Pilar HEB 1.1

Perfil: HE 240 B, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N204	N460	1.000	150.00	13034.67	10801.67	16877.09
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		1.000	1.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_{w}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N204/N460	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 0.926 m η = 3.5	x: 0.087 m η = 6.1	x: 0.087 m η = 34.4	x: 0.087 m η = 3.9	η = 9.1	x: 0.087 m η = 1.0	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.087 m η = 39.2	η < 0.1	η = 11.2	x: 0.087 m η = 0.7	x: 0.926 m η = 0.1	CUMPLE η = 39.2
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \quad \mathbf{0.13} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 22821.322 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 27539.114 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 22821.322 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 13034.67 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 10801.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 16877.09 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 487491.56 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.61 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 9.32 cm

i_z : 8.49 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$20.60 \leq 229.53 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{206.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{41.20} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{44.20} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.035} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.926 m del nudo N204, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{13.523} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{385.904} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.061 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 23.456 T

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd}$: 385.904 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}$: 0.13

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 22821.322 t

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 27539.114 t

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 22821.322 t

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.344 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 10.159 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N204, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 10.590 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 30.817 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 1197.84 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.039 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N204, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{1.105} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N204, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.749} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{28.032} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} : \underline{1089.60} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.091} \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{9.164} \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{68.00} \text{ cm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$20.60 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{20.60}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.270} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{85.40} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$15.29 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$$\lambda_w : \underline{15.29}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$9.164 \text{ t} \leq 50.502 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{9.164} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.270 \text{ t} \leq 63.424 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.270} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.392} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.383} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.261} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N204, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{15.345} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{10.136} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.663} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{385.904} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{30.817} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{28.032} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{1197.84} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{1089.60} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.12}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.13}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$9.164 \text{ t} \leq 50.103 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{9.164} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{100.205} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.112} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{1.856} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{16.562} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.697} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.223} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{99.646} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{19.96} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.926 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.146} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.221} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{125.854} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{11.65} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1895.50} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

- Pilar HEB 1.2

Barra N460/N205

Perfil: HE 240 B, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N460	N205	0.632	150.00	13034.67	10801.67	16877.09
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	0.632	0.632	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N460/N205	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 0.461 m η = 2.7	x: 0.072 m η = 4.7	x: 0.463 m η = 16.9	x: 0.463 m η = 2.9	η = 23.0	x: 0.072 m η = 1.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.463 m η = 22.8	η < 0.1	η = 3.8	x: 0.461 m η = 4.9	x: 0.461 m η = 0.2	CUMPLE η = 23.0
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: **0.08** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 57135.581 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 68947.069 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{57135.581 \text{ t}}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{13034.67 \text{ cm}^4}$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{10801.67 \text{ cm}^4}$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{16877.09 \text{ cm}^4}$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{487491.56 \text{ cm}^6}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673 \text{ kp/cm}^2}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688 \text{ kp/cm}^2}$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{0.632 \text{ m}}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{0.632 \text{ m}}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000 \text{ m}}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.61 \text{ cm}}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{9.32 \text{ cm}}$$

$$i_z : \underline{8.49 \text{ cm}}$$

y₀, **z₀**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

$$z_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$20.60 \leq 229.53 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{206.00 \text{ mm}}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00 \text{ mm}}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{41.20 \text{ cm}^2}$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{44.20 \text{ cm}^2}$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.027} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.461 m del nudo N460, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{10.486} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{385.904} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.047} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.072 m del nudo N460, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{18.197} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{385.904} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.08}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{57135.581} \text{ t}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{68947.069} \text{ t}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{57135.581} \text{ t}$$

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.169} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.463 m del nudo N460, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{3.213} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.463 m del nudo N460, para la combinación de acciones

1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{5.198} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{30.817} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : \underline{1197.84} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.029} \checkmark$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.463 m del nudo N460, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.738} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.463 m del nudo N460, para la combinación de acciones

1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.824} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{28.032} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{1089.60} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.230} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{23.234} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{68.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$20.60 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{20.60}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.018} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.072 m del nudo N460, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.230} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{85.40} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_r} < 70 \cdot \varepsilon \quad 15.29 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{15.29}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_r}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 23.234 \text{ t} \leq 50.502 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{23.234} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 2.230 \text{ t} \leq 63.424 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{2.230} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.228} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.223} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.160} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.463 m del nudo N460, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{18.095} \text{ t}$
 $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed} : \underline{5.198} \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{z,Ed} : \underline{0.335} \text{ t}\cdot\text{m}$
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : \underline{385.904} \text{ t}$
 $M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{30.817} \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{28.032} \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. $A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$
 $W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{pl,y} : \underline{1197.84} \text{ cm}^3$
 $W_{pl,z} : \underline{1089.60} \text{ cm}^3$
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$
 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.08}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.08}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM3(90^\circ 270^\circ) + 0.75 \cdot Nieve$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$23.234 \text{ t} \leq 50.388 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{23.234 \text{ t}}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{100.775 \text{ t}}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.038} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.P$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.631 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : \underline{16.562} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión. $W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$
 $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$
 Siendo:
 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.049} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.461 m del nudo N460, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{4.973} \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed} : \underline{0.043} \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : \underline{100.741} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$
 $\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed} : \underline{3.85} \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión. $W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$
 $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$
 Siendo:
 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.461 m del nudo N460, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.300 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.043 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 126.655 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 126.848 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 2.27 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1895.50 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

1.2 Vigas pórtico IPE 300

De las 12 vigas que componen los dos pórticos que forman el módulo 1, se analizarán tres correspondiente con el medio pórtico situado al exterior de la estructura metálica. Estas tres vigas al estar conectadas con el marco frontal son las que más carga deben de soportar.

De cada viga las comprobaciones E.L.U. se muestran para los segmentos entre correas que forman cada viga. A continuación, se incluyen las comprobaciones de los segmentos sometidos a mayores esfuerzos.

• IPE 300 - 1.1

Barra N205/N209

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 15.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N205	N209	1.173	137.80	13844.00	6135.00	13192.55
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.94	1.00	0.94	0.94		
L _K	1.100	1.173	1.100	1.100		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_{w}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N205/N209	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,adm}$ Cumple	x: 1.173 m η = 4.5	x: 0.135 m η = 7.8	x: 0.135 m η = 27.7	x: 0.135 m η = 3.0	x: 0.135 m η = 3.3	x: 1.173 m η = 1.0	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.135 m η = 37.1	η < 0.1	η = 6.5	x: 0.135 m η = 0.6	x: 1.173 m η < 0.1	CUMPLE η = 37.1
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: **0.19** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 10712.214 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{21253.780} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{10712.214} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{76698.201} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{13844.00} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{6135.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{13192.55} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{130116.00} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{1.173} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.100} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.04} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{10.02} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{6.67} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

centro de gravedad de la sección.

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$14.02 \leq 193.49 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.
t_w: Espesor del alma.
A_w: Área del alma.
A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
E: Módulo de elasticidad.
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:
 $f_{yf} = f_y$

h_w : 150.00 mm
t_w : 10.70 mm
A_w : 32.10 cm²
A_{fc,ef} : 45.00 cm²
k : 0.30
E : 2140673 kp/cm²
f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.045 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N209, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90º270º).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 16.494 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 367.895 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 137.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.078 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90º270º)+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{28.612}$ t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd} : \underline{367.895}$ t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}$: 0.19

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 10712.214 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 21253.780 t

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 10712.214 t

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 76698.201 t

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.277 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM6(90^\circ 270^\circ)$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{4.989} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM3(90^\circ 270^\circ) + 0.75 \cdot \text{Nieve}$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{8.439} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{30.417} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1139.33} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.10}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{3489.799} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{3415.954} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} : \underline{714.109} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

Siendo:

W_{el,y}: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{922.93} \text{ cm}^3$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{6135.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{13192.55} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c⁺: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

i_{f,z}⁺: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{6.66} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{6.66} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.030} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°).

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.697} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones

1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.538} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{23.037} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{862.88} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.033 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 5.346 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 162.309 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 105.30 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

18.57 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 18.57

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{\text{máx}}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\text{máx}} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\lambda_{\text{máx}} : \underline{64.71}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$f_{\text{ref}} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N209, para la combinación de acciones $0.8 \cdot \text{PP} + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot \text{V}(90^\circ) \text{H.1.2.P.}$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{\text{Ed}} : \underline{0.549} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{\text{c,Rd}}$ viene dado por:

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{\text{yd}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{\text{c,Rd}} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{34.02} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{\text{yd}} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{\text{yd}} = f_y / \gamma_{\text{M0}}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{\text{M0}} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$16.82 < 64.71 \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_w : 16.82

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

ε : 0.92

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

5.346 t ≤ 81.154 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 5.346 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 162.309 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.518 t ≤ 26.219 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.518 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 52.437 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.371} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.365} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.260} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 28.612 t

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}** : 8.439 t·m

M_{z,Ed} : 0.363 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. **N_{pl,Rd}** : 367.895 t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 30.417 t·m

M_{pl,Rd,z} : 23.037 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 137.80 cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 1139.33 cm³

W_{pl,z} : 862.88 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : 1.05

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente. **C_{m,y}** : 1.00

C_{m,z} : 1.00

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.13}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.19}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM3(90^\circ 270^\circ) + 0.75 \cdot \text{Nieve}.$$

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$5.346 \text{ t} \leq 81.009 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{5.346} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{162.018} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.065} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.P + 0.75 \cdot \text{Nieve}.$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{1.025} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{15.746} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1021.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2803.26 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.006 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.895 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.028 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 162.101 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 162.309 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 1.97 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1432.04 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y/\gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N209, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{V_{Ed}} : \underline{0.019} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{T,Ed}} : \underline{0.030} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} : \underline{52.336} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$\mathbf{V_{pl,Rd}} : \underline{52.437} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\mathbf{\tau_{T,Ed}} : \underline{2.96} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W_T} : \underline{1021.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

- IPE 300 - 1.2.

Barra N205/N209

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 15.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N205	N209	1.173	137.80	13844.00	6135.00	13192.55
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β	0.94	1.00	0.94	0.94		
L _K	1.100	1.173	1.100	1.100		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N205/N209	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 1.173 m η = 4.5	x: 0.135 m η = 7.8	x: 0.135 m η = 27.7	x: 0.135 m η = 3.0	x: 0.135 m η = 3.3	x: 1.173 m η = 1.0	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.135 m η = 37.1	η < 0.1	η = 6.5	x: 0.135 m η = 0.6	x: 1.173 m η < 0.1	CUMPLE η = 37.1
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: **0.19** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 10712.214 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 21253.780 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{10712.214 \text{ t}}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{76698.201 \text{ t}}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{13844.00 \text{ cm}^4}$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{6135.00 \text{ cm}^4}$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{13192.55 \text{ cm}^4}$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{130116.00 \text{ cm}^6}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673 \text{ kp/cm}^2}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688 \text{ kp/cm}^2}$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{1.173 \text{ m}}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.100 \text{ m}}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.100 \text{ m}}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.04 \text{ cm}}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{10.02 \text{ cm}}$$

$$i_z : \underline{6.67 \text{ cm}}$$

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

$$z_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$14.02 \leq 193.49 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{150.00 \text{ mm}}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.70 \text{ mm}}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{32.10 \text{ cm}^2}$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{45.00 \text{ cm}^2}$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.045} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N209, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{16.494} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{367.895} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{137.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.078} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{28.612} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{367.895} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{137.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.19}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{137.80} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{10712.214} \text{ t}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{21253.780} \text{ t}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{10712.214} \text{ t}$$

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{76698.201} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.277} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁺ : 4.989 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 8.439 t·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

M_{c,Rd} : 30.417 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

W_{pl,y} : 1139.33 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.10

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr} : 3489.799 t·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral **M_{cr}** se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv}: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

M_{LTv} : 3415.954 t·m

M_{LTw}: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

M_{LTw} : 714.109 t·m

Siendo:

W_{el,y} : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.	W_{el,y} : <u>922.93</u> cm ³
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : <u>6135.00</u> cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>13192.55</u> cm ⁴
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>825688</u> kp/cm ²
L_c⁺ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.	L_c⁺ : <u>1.100</u> m
L_c⁻ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.	L_c⁻ : <u>1.100</u> m
C₁ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.	C₁ : <u>1.00</u>
i_{f,z}⁺ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.	i_{f,z}⁺ : <u>6.66</u> cm
	i_{f,z}⁻ : <u>6.66</u> cm

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.030 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°).

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁺ : 0.697 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 0.538 t·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

M_{c,Rd} : 23.037 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

W_{pl,z} : 862.88 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.033 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90º270º)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 5.346 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 162.309 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 105.30 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

18.57 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 18.57

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.010 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N209, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.549 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 52.437 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 34.02 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

16.82 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 16.82

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$f_{\text{ref}} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$5.346 \text{ t} \leq 81.154 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{5.346} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{162.309} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.518 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.518} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.371} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.365} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.260} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{28.612} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{8.439} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.363} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{367.895} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{30.417} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{23.037} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{137.80} \text{ cm}^2$$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{1139.33} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{862.88} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_y &: \underline{0.13} \\ \bar{\lambda}_z &: \underline{0.19} \\ \alpha_y &: \underline{0.60} \\ \alpha_z &: \underline{0.60} \end{aligned}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$5.346 \text{ t} \leq 81.009 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{5.346} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{162.018} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.065} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{1.025} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{15.746} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1021.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.006 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N205, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.895 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.028 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 162.101 t

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd} : 162.309 t

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

τ_{T,Ed} : 1.97 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1432.04 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N209, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.019 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.030 \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : 52.336 \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : 52.437 \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : 2.96 \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 1021.52 \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 2669.77 \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 2803.26 \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

• IPE 300 - 1.3.

Barra N218/N217

Perfil: IPE 300 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N218	N217	1.088	53.80	8356.00	604.00	20.10
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	
L _K	1.100	1.088	1.100	1.100	1.100	
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N218/N217	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 1.088 m $\eta = 13.9$	x: 0 m $\eta = 24.0$	x: 0.544 m $\eta = 11.5$	x: 1.088 m $\eta = 12.7$	x: 1.088 m $\eta = 4.0$	x: 0 m $\eta = 0.7$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.088 m $\eta = 33.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 22.2$	x: 0 m $\eta = 0.7$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 33.7$

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t : Resistencia a tracción N_c : Resistencia a compresión M_y : Resistencia a flexión eje Y M_z : Resistencia a flexión eje Z V_z : Resistencia a corte Z V_y : Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t : Resistencia a torsión $M_y V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_z V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x : Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)														

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.38 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 53.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1054.634 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 14913.881 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 1054.634 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 1420.672 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 8356.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 604.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 20.10 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 126000.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.088 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.100 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.100} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.91} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{12.46} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.35} \text{ cm}$$

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$39.24 \leq 254.33 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{19.78} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{16.05} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.139} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N217, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{19.945} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{143.634} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.225} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.240} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N218, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{32.258} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{143.634} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{134.247 \text{ t}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{53.80 \text{ cm}^2}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77 \text{ kp/cm}^2}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26 \text{ kp/cm}^2}$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{0.93}$$

$$\chi_T : \underline{0.95}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.49}$$

$$\phi_z : \underline{0.60}$$

$$\phi_T : \underline{0.57}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

$$\alpha_z : \underline{0.34}$$

$$\alpha_T : \underline{0.34}$$

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.10}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.38}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.33}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{1054.634 \text{ t}}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{14913.881 \text{ t}}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1054.634 \text{ t}}$$

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{1420.672 \text{ t}}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.115} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.544 m del nudo N218, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.927} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.544 m del nudo N218, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{1.496} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{16.766} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.33}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{157.045} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{41.837} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{r,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{151.370} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

W_{el,y} : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.	W_{el,y} : <u>557.07</u> cm ³
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : <u>604.00</u> cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>20.10</u> cm ⁴
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>825688</u> kp/cm ²
L_c⁺ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.	L_c⁺ : <u>1.100</u> m
L_c⁻ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.	L_c⁻ : <u>1.100</u> m
C₁ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.	C₁ : <u>1.00</u>
i_{f,z}⁺ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.	i_{f,z}⁺ : <u>3.94</u> cm
	i_{f,z}⁻ : <u>3.94</u> cm

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.127 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N217, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁺ : 0.397 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N217, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 0.424 t·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

M_{c,Rd} : 3.337 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

W_{pl,z} : 125.00 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.040 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N217, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.572 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 39.567 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 25.67 cm²

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

h : 300.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 7.10 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

35.01 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 35.01

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{\text{máx}}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\text{máx}} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\lambda_{\text{máx}} : \underline{64.71}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$f_{\text{ref}} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N218, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{\text{Ed}} : \underline{0.361} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{\text{c,Rd}}$ viene dado por:

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{\text{vd}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{\text{c,Rd}} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{34.02} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{\text{vd}} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{\text{vd}} = f_y / \gamma_{\text{M0}}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{\text{M0}} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.283 \text{ t} \leq 19.784 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.283} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.361 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.361} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.323} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.319} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.337} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N217, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90º270º)+0.75·Nieve.

Donde:

N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : $\frac{32.246}{1}$ t
M_{y,Ed}, M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed}⁺ : $\frac{1.485}{1}$ t·m
	M_{z,Ed}⁺ : $\frac{0.032}{1}$ t·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : $\frac{2}{1}$
N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : $\frac{143.634}{1}$ t
M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : $\frac{16.766}{1}$ t·m
	M_{pl,Rd,z} : $\frac{3.337}{1}$ t·m
Resistencia a pandeo : (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)	
A : Área de la sección bruta.	A : $\frac{53.80}{1}$ cm ²
W_{pl,y}, W_{pl,z} : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	W_{pl,y} : $\frac{628.00}{1}$ cm ³
	W_{pl,z} : $\frac{125.00}{1}$ cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : $\frac{2669.77}{1}$ kp/cm ²
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : $\frac{2803.26}{1}$ kp/cm ²
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M1} : $\frac{1.05}{1}$
k_y, k_z, k_{y,LT} : Coeficientes de interacción.	
$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$	k_y : $\frac{1.00}{1}$
$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$	k_z : $\frac{1.04}{1}$
$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$	k_{y,LT} : $\frac{0.98}{1}$
C_{m,y}, C_{m,z}, C_{m,LT} : Factores de momento flector uniforme equivalente.	C_{m,y} : $\frac{1.00}{1}$
	C_{m,z} : $\frac{1.00}{1}$
	C_{m,LT} : $\frac{1.00}{1}$
χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	χ_y : $\frac{1.00}{1}$
	χ_z : $\frac{0.93}{1}$
χ_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.	χ_{LT} : $\frac{1.00}{1}$
λ̄_y, λ̄_z : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	λ̄_y : $\frac{0.10}{1}$
	λ̄_z : $\frac{0.38}{1}$
α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	α_y : $\frac{0.60}{1}$
	α_z : $\frac{0.60}{1}$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y , además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90º270º)+0.75·Nieve.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.283 \text{ t} \leq 19.681 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.283} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{39.361} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.222} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90º)H.1.2.S.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.064} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.290} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.007}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N218, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.271 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.004 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 39.361 t

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd} : 39.567 t

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

τ_{T,Ed} : 19.98 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 18.79 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.001}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.049 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.004 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 52.165 t

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd} : 52.437 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{19.98} \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

1.3 Correas # 160x80x6 mm

De las 26 correas instaladas en el módulo 1 se muestran las comprobaciones E.L.U. de 4 cuarreas. Estas cuatro correas son las que más resistencia soportan de cada medio modulo que coinciden con el cambio de dirección de las vigas del pórtico.

- # 160x80x6 1.0

Barra N205/N428

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N205	N428	3.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	3.000	3.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-	1.000				
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _v	M _z	V _z	V _v	M _v V _z	M _z V _v	NM _v M _z	NM _v M _z V _v V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _v	
N205/N428	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 11.9$	x: 0.13 m $\eta = 7.7$	x: 2.92 m $\eta = 22.5$	x: 0.13 m $\eta = 0.8$	$\eta = 2.5$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.13 m $\eta = 33.2$	$\eta < 0.1$	$\eta = 3.5$	x: 0.13 m $\eta = 0.2$	x: 0.13 m $\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 33.2$

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_y V_z$	
<p>Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_y V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_z V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede</p> <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.</p>															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.98 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 65.594 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 195.575 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 65.594 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{3.000} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{3.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

A_w : Área del alma.

$$A_w : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{4.80} \text{ cm}^2$$

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.066} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.119 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 3.958 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 33.164 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.80

χ_z : 0.55

Siendo:

φ_y : 0.75

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_z : \underline{1.17}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.57}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.98}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{65.594} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{195.575} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{65.594} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.077} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N205, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.116} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N205, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.246} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.225 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.920 m del nudo N205, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.436 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.920 m del nudo N205, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.361 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 1.937 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 84.91 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.008 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N205, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.184 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 23.393 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < **70.00** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.025 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.289 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 11.395 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 8.65 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 26.41 cm²

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.33 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{\text{máx}}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\text{máx}} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\lambda_{\text{máx}} : \underline{70.00}$$

$$\varepsilon : \underline{1.00}$$

$$f_{\text{ref}} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{\text{c,Rd}}$.

$$V_{\text{Ed}} \leq \frac{V_{\text{c,Rd}}}{2}$$

$$0.184 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot \text{PP} + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(180^\circ) \text{H.1.1.P.}$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{\text{Ed}} : \underline{0.184} \text{ t}$$

$V_{\text{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{\text{c,Rd}} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{\text{c,Rd}}$.

$$V_{\text{Ed}} \leq \frac{V_{\text{c,Rd}}}{2}$$

$$0.289 \text{ t} \leq 5.698 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot \text{PP} + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(90^\circ) \text{H.1.2.P} + 0.75 \cdot \text{Nieve.}$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{\text{Ed}} : \underline{0.289} \text{ t}$$

$V_{\text{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{\text{c,Rd}} : \underline{11.395} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.298} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.259} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.332} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N205, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 3.642 t
M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}** : 0.244 t·m
M_{z,Ed} : 0.311 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. **N_{pl,Rd}** : 60.256 t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 3.186 t·m

M_{pl,Rd,z} : 1.937 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 26.41 cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 139.63 cm³

W_{pl,z} : 84.91 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : 1.05

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.03}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.09}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente. **C_{m,y}** : 1.00

C_{m,z} : 1.00

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.80}$$

$$\chi_z : \underline{0.55}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.57}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.98}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.289 \text{ t} \leq 5.685 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.289 \text{ t}}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{11.371 \text{ t}}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.035} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.064 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.801 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75 \text{ cm}^3}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44 \text{ kp/cm}^2}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N205, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.035 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.004 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 23.344 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 23.393 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 2.80 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 136.75 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N205, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : 0.004 \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed} : 0.004 \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : 11.371 \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd} : 11.395 \text{ t}$
 $\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed} : 2.80 \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión. $W_T : 136.75 \text{ cm}^3$
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : 2395.51 \text{ kp/cm}^2$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0} : 1.05$

- # 160x80x6 1.1

Barra N206/N191

Perfil: #160x80x6						
Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud		Características mecánicas			
	Inicial	Final	(m)	Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)
N206	N191	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L_K	6.000	6.000	0.000	0.000		
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C_1	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$NM_y M_z$	$NM_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$		$M_t V_y$
N206/N191	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$x: 0.092 \text{ m}$ $\lambda_w \leq \lambda_{w,\text{máx}}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 39.5$	$x: 3 \text{ m}$ $\eta = 3.7$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$x: 0.09 \text{ m}$ $\eta = 0.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$x: 0.092 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	$x: 3 \text{ m}$ $\eta = 42.1$	$x: 0.092 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 42.1$
<p>Notación:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $NM_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $NM_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <ul style="list-style-type: none"> ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. 																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>701.04</u> cm ⁴
I_w : Constante de alabeo de la sección.	I_w : <u>911.32</u> cm ⁶
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>825688</u> kp/cm ²
L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} : <u>6.000</u> m
L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} : <u>6.000</u> m
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} : <u>0.000</u> m
i₀ : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i₀ : <u>6.49</u> cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y : <u>5.62</u> cm
y₀ , z₀ : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	i_z : <u>3.25</u> cm
	y₀ : <u>0.00</u> mm
	z₀ : <u>0.00</u> mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

24.67 ≤ 515.67 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>148.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>6.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>17.76</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>4.80</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2395.51</u> kp/cm ²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.080 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.395 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 4.818 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 12.193 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : 0.46

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\chi_z : 0.20$$

$$\Phi_y : 1.38$$

$$\Phi_z : 2.86$$

$$\alpha_y : 0.49$$

$$\alpha_z : 0.49$$

$$\bar{\lambda}_y : 1.14$$

$$\bar{\lambda}_z : 1.96$$

$$N_{cr} : 16.399 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 48.894 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 16.399 \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.037 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N206, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 0.119 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 3.186 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 139.63 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.090 m del nudo N206, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.084 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 24.67 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{24.67}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 0.081 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.092 m del nudo N206, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.081} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.117} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.214} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.421} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N206, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 4.818 t

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}⁺** : 0.119 t·m
M_{z,Ed}⁺ : 0.000 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. **N_{pl,Rd}** : 60.256 t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 3.186 t·m
M_{pl,Rd,z} : 1.937 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 26.41 cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 139.63 cm³
W_{pl,z} : 84.91 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : 1.05

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.14}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.32}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente. **C_{m,y}** : 1.00
C_{m,z} : 1.00

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.092 m del nudo N206, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.081 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.081} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 160x80x6 1.2

Barra N210/N195

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N210	N195	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		6.000	6.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ̄	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N210/N195	λ̄ < 2.0 Cumple	x: 0.087 m λ _w ≤ λ _{w,máx} Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 22.7	x: 3 m η = 3.7	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.085 m η = 0.4	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0.087 m η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	x: 3 m η = 25.1	x: 0.087 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE η = 25.1
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (6) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{833.12} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{279.42} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{701.04} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{911.32} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.
t_w: Espesor del alma.
A_w: Área del alma.
A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
E: Módulo de elasticidad.
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:
 $f_{yf} = f_y$

h_w: 148.00 mm
t_w: 6.00 mm
A_w: 17.76 cm²
A_{fc,ef}: 4.80 cm²
k: 0.30
E: 2140673 kp/cm²
f_{yf}: 2395.51 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.046 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.227 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

N_{c,Ed}: 2.763 t

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{c,Rd}: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase: 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A: 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{12.193 \text{ t}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41 \text{ cm}^2}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44 \text{ kp/cm}^2}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51 \text{ kp/cm}^2}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{1.38}$$

$$\phi_z : \underline{2.86}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{16.399 \text{ t}}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{48.894 \text{ t}}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{16.399 \text{ t}}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.037} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N210, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.119} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.004} \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.085 m del nudo N210, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.084} \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

$$A_v : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$$d : \underline{148.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$24.67 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$$\lambda_w : \underline{24.67}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{1.00}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.082 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N210, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.082} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.083} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.139} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.251} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N210, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{2.763} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.119} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.08}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.18}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N210, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.082 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.082} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y v momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 160x80x6 1.3

Barra N215/N199

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N215	N199	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		6.000	6.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N215/N199	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	$\eta < 0.1$	$\eta = 9.3$	x: 3.375 m $\eta = 4.5$	x: 6 m $\eta = 2.5$	x: 6 m $\eta = 0.4$	$\eta = 0.1$	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	x: 3.75 m $\eta = 13.0$	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 13.0$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: **1.96** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 6.49 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 5.62 cm

i_z : 3.25 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

24.67 ≤ 515.67 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 17.76 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 4.80 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2395.51 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 0.013 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 60.256 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.019} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.093} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°).

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.138} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$Clase : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{12.193} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\chi_z : 0.20$$

$$\Phi_y : 1.38$$

$$\Phi_z : 2.86$$

$$\alpha_y : 0.49$$

$$\alpha_z : 0.49$$

$$\bar{\lambda}_y : 1.14$$

$$\bar{\lambda}_z : 1.96$$

$$N_{cr} : 16.399 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 48.894 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 16.399 \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.045 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.375 m del nudo N215, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 0.142 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 3.186 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 139.63 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.025 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N199, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.041 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N199, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.048 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 1.937 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 84.91 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N199, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.091 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 23.393 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < **70.00** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.008 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 11.395 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 8.65 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 26.41 cm²

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.33 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ϵ : Factor de reducción.

ϵ : 1.00

$$\epsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.079 t ≤ 11.697 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N215, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.079 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.008 t ≤ 5.698 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N215, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.008 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 11.395 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : 0.068 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.086} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.130} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.750 m del nudo N215, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°).

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.138} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.115} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.025} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.03}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.07}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\begin{array}{l} \bar{\lambda}_y : \underline{1.14} \\ \bar{\lambda}_z : \underline{1.96} \\ \alpha_y : \underline{0.60} \\ \alpha_z : \underline{0.60} \end{array}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N215, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.079 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.079} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.4 Tirantes de cubierta, barras R 20 mm

De los seis pares de tirantes dispuesto en cruz se analizará el tirante de cubierta con mas carga.

Barra N205/N191

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N205	N191	7.544	3.14	0.79	0.79	1.57
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.00	0.00	0.00	0.00		
L _K	0.000	0.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N205/N191	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	η = 80.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE η = 80.1
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A: $\frac{3.14}{\text{cm}^2}$

f_y: $\frac{2701.33}{\text{kp/cm}^2}$

N_{cr}: $\frac{\infty}{\text{kp/cm}^2}$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : **0.801** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 6.477 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 8.082 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 3.14 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.5 Tirante laterales

Barra N204/N428

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N204	N428	3.415	3.14	0.79	0.79	1.57	
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
β	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
	0.00	0.00	0.00	0.00			
L _K	0.000	0.000	0.000	0.000			
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000			
C ₁	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N204/N428	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 17.1$	N _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 17.1$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \mathbf{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$\mathbf{A} : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f}_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{N}_{cr} : \underline{\infty}$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.171} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
 $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.S + 0.75 \cdot Nieve$.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{1.386} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{8.082} \text{ t}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.6 Cerramiento lateral

Barra N204/N427

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N204	N427	3.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
β	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	3.000	3.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N204/N427	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	η = 0.3	η = 4.4	x: 0.13 m η = 6.8	x: 2.92 m η = 22.9	x: 0.13 m η = 0.8	η = 2.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.13 m η = 25.2	η < 0.1	η = 2.6	x: 0.13 m η = 0.2	x: 2.918 m η < 0.1	CUMPLE η = 25.2
Notación: λ: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.98} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 65.594 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{195.575} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{65.594} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{833.12} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{279.42} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{701.04} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{911.32} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{3.000} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{3.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.
t_w: Espesor del alma.
A_w: Área del alma.
A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
E: Módulo de elasticidad.
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:
 $f_{yf} = f_y$

h_w: 148.00 mm
t_w: 6.00 mm
A_w: 17.76 cm²
A_{fc,ef}: 4.80 cm²
k: 0.30
E: 2140673 kp/cm²
f_{yf}: 2395.51 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.003 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed}: 0.211 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd}: 60.256 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.024 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.044 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

$$N_{c,Ed} : \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{1.468} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{33.164} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.80}$$

$$\chi_z : \underline{0.55}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\Phi_y : \underline{0.75}$$

$$\Phi_z : \underline{1.17}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_y : 0.57$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.98$$

$$N_{cr} : 65.594 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 195.575 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 65.594 \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.068 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N204, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 0.103 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 0.217 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 3.186 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 139.63 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 2395.51 \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.229 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.920 m del nudo N204, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.443 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.920 m del nudo N204, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S+0.75·Nieve.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.353 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 1.937 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 84.91 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.008 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N204, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : 0.180 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma. **d** : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 24.67 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. **λ_w** : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima. **λ_{máx}** : 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción. **ε** : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. **f_{ref}** : 2395.51 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.027 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.304 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 11.395 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 8.65 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

A : 26.41 cm²

d: Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.33 < **70.00** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.180 t ≤ 11.697 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.180 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.304 t ≤ 5.698 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.304 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 11.395 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.252 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.186} \checkmark$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.251} \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N204, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.P.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{1.023} \text{ t}$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed} : \underline{0.160} \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. $M_{z,Ed} : \underline{0.359} \text{ t}\cdot\text{m}$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. $\text{Clase} : \underline{1}$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. $M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. $A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. $W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$k_y : \underline{1.01}$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$k_z : \underline{1.02}$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y} : \underline{1.00}$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $C_{m,z} : \underline{1.00}$

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\chi_y : \underline{0.80}$

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección. $\chi_z : \underline{0.55}$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y , además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.P.$

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.304 \text{ t} \leq 5.677 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.304} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{11.353} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.026} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.P.$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.047} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.801} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.043} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.007} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{23.307} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{4.87} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y v momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.918 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.005} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.004} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{11.370} \text{ t}$$

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$V_{pl,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$$

$$\tau_{T,Ed} : \underline{2.87} \text{ kp/cm}^2$$

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

1.7 Marco frontal

Se muestran las comprobaciones E.L.U. de los perfiles correspondientes a medio marco frontal, sometidos a más carga.

Barra N541/N552

Perfil: # 160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N541	N552	1.672	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.00	0.00	0.00	0.00		
L _K	0.000	0.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)																Estado
	λ̄	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y		
N541/N552	λ̄ < 2.0 Cumple	λ _w ≤ λ _{w,máx} Cumple	x: 1.672 m η = 3.5	x: 0.05 m η = 2.0	x: 1.672 m η = 27.1	x: 0.05 m η = 42.5	x: 0.05 m η = 5.6	η = 6.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.05 m η = 43.0	η < 0.1	η = 0.5	x: 1.267 m η < 0.1	x: 1.064 m η = 0.2	CUMPLE η = 43.0	
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																	

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo mínimo, teniendo en cuenta que las longitudes de pandeo son nulas.

N_{cr} : ∞

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

24.67 ≤ 515.67 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 17.76 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 4.80 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2395.51 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.035 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N552, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 2.082 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 60.256 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.020 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.050 m del nudo N541, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 1.192 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo son nulas.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.271 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N552, para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.862 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N552, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.P + 0.75 \cdot Nieve$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.782} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.425} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.050 m del nudo N541, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM4(180^\circ)$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.823} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.050 m del nudo N541, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM5(0^\circ) + 0.75 \cdot Nieve$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.820} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.056} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.050 m del nudo N541, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.305} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$24.67 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{24.67}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.063} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.719} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{8.65} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.33 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.
 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²
 f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

1.305 t ≤ 11.697 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.305 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.719 \text{ t} \leq 5.698 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM4(180^\circ)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.719} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.430} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.050 m del nudo N541, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM4(180^\circ)$.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.225} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.004} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.822} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

No procede, dado que tanto las longitudes de pandeo como las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM4(180^\circ)$.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.719 \text{ t} \leq 5.692 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : 0.719 \text{ t}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : 11.384 \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.005 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta-0.3·SX-SY.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : 0.009 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : 1.801 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : 136.75 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 2395.51 \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < 0.001 \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.267 m del nudo N541, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : 0.007 \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : 0.002 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{23.369} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{1.35} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y/\gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.064 m del nudo N541, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.027} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{11.385} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{1.16} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y/\gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

1.8 Estructura triangular de refuerzo

Se muestran las comprobaciones E.L.U. de los elementos de media estructura sometidos a mayores esfuerzos, ya que le resto por simetría son equivalentes.

Barra N477/N501

Perfil: O 170x5 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N477	N501	1.000	25.92	882.84	882.84	1765.67
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		1.000	1.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N477/N501	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\eta = 58.9$	$\eta = 60.2$	x: 1 m $\eta = 10.6$	x: 0 m $\eta = 12.0$	x: 0 m $\eta = 2.9$	$\eta = 1.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 81.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.0$	x: 0 m $\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 0.2$	CUMPLE $\eta = 81.6$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.18 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 25.92 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1865.221 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 1865.221 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 1865.221 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 882.84 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 882.84 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 1765.67 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 8.25 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 5.84 cm

i_z : 5.84 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.589 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 34.801 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 59.131 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 25.92 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.602 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

N_{c,Ed} : 35.625 t

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{c,Rd} : 59.131 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{25.92} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.18}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{25.92} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{1865.221} \text{ t}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{1865.221} \text{ t}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1865.221} \text{ t}$$

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.106} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N501, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.330} \text{ t·m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N501, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.319} \text{ t·m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.107} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{136.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.120} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N477, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.S.$

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.374} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N477, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.P + 0.75 \cdot \text{Nieve}.$

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.355} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.107} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{136.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.029 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N477, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.630 t

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 21.734 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 16.50 cm²

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 25.92 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.019 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.423} \text{ t}$$

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{21.734} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{16.50} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{25.92} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.630 \text{ t} \leq 10.867 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.630} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{21.734} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.423 \text{ t} \leq 10.867 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.423} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{21.734} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.816} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.768} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.778} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N477, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{35.530} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.295} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.374} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{59.131} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.107} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{3.107} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{25.92} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{136.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{136.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$k_y : \underline{1.00}$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$k_z : \underline{1.00}$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y} : \underline{1.00}$

$C_{m,z} : \underline{1.00}$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$\chi_y : \underline{1.00}$

$\chi_z : \underline{1.00}$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y : \underline{0.18}$

$\bar{\lambda}_z : \underline{0.18}$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$\alpha_y : \underline{0.60}$

$\alpha_z : \underline{0.60}$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

0.630 t ≤ 10.862 t ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed,z} : \underline{0.630} \text{ t}$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd,z} : \underline{21.725} \text{ t}$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.010}$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.027} \text{ t·m}$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{2.736} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{207.73} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N477, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.047} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{21.725} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{21.734} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.54} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{207.73} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N477, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.047 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.001 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 21.725 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 21.734 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 0.54 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 207.73 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Barra N502/N526

Perfil: O D150x5 Material: Acero (S235)						
Nudos Inicial	Nudos Final	Longitud (m)	Características mecánicas			
			Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N502	N526	1.000	22.78	599.31	599.31	1198.62
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		1.000	1.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	λ̄	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N502/N526	λ̄ < 2.0 Cumple	η = 22.8	η = 23.9	x: 0.929 m η = 3.2	x: 0.929 m η = 7.6	x: 0.929 m η = 0.5	η = 0.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.929 m η = 31.3	η < 0.1	η = 1.5	x: 0.929 m η = 0.1	x: 0.929 m η = 0.1	CUMPLE η = 31.3
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : 0.21 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 22.78 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1266.193 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 1266.193 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1266.193} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{599.31} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{599.31} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{1198.62} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{0.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{1.000} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.000} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{7.25} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.13} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{5.13} \text{ cm}$$

y₀, **z₀**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.228} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.S + 0.75 \cdot \text{Nieve}.$$

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{11.828} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{51.963} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{22.78} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.238} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.239} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{12.364} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{51.963} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{22.78} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{51.762} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{22.78} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.52}$$

$$\phi_z : \underline{0.52}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.21}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{1266.193} \text{ t}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{1266.193} \text{ t}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1266.193} \text{ t}$$

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.032} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.929 m del nudo N502, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.077} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.929 m del nudo N502, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.062} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{2.399} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : \underline{105.17} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.076} \checkmark$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.929 m del nudo N502, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.183} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.929 m del nudo N502, para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.176} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{2.399} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{105.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.929 m del nudo N502, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM4(180^\circ) + 0.75 \cdot \text{Nieve}$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.101} \text{ t}$$

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{19.099} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{14.50} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{22.78} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.005 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.088 t

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 19.099 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 14.50 cm²

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 22.78 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.077 t ≤ 9.550 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.077} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{19.099} \text{ t}$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.088 \text{ t} \leq 9.550 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.088} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{19.099} \text{ t}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.313}$ ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.285}$ ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.313}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.929 m del nudo N502, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed} : \underline{12.364} \text{ t}$

$M_{y,Ed} : \underline{0.005} \text{ t·m}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{z,Ed} : \underline{0.176} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{51.963} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{2.399} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{2.399} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{22.78} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{105.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{105.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.21}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

0.088 t ≤ 9.528 t ✓

Donde:

V_{Ed,y}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed,y}: 0.088 t

V_{c,Rd,y}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{c,Rd,y}: 19.055 t

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

η: 0.015 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed}: 0.031 t·m

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

M_{T,Rd}: 2.105 t·m

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T: 159.82 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η: 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.929 m del nudo N502, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed}: 0.023 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed}: 0.005 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{19.056} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{19.099} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{2.96} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{159.82} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y/\gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.929 m del nudo N502, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.023} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{19.056} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{19.099} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{2.96} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{159.82} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y/\gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

Barra N477/N476

Perfil: O D100x5 Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N477	N476	1.414	14.92	168.81	168.81	337.62
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		1.414	1.414	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N477/N476	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 1.33 m $\eta = 4.3$	x: 0.139 m $\eta = 5.4$	x: 1.332 m $\eta = 26.0$	x: 1.332 m $\eta = 5.3$	x: 1.332 m $\eta = 2.7$	$\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.332 m $\eta = 32.9$	$\eta < 0.1$	$\eta = 8.4$	x: 1.332 m $\eta = 0.4$	x: 1.332 m $\eta = 0.4$	CUMPLE $\eta = 32.9$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.45 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 14.92 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 178.333 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

$N_{cr,y}$: 178.333 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

$N_{cr,z}$: 178.333 t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 168.81 cm⁴

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 168.81 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 337.62 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E : Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G : Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.414 m

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.414 m

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_0 : 4.76 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 3.36 cm

i_z : 3.36 cm

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.043 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.330 m del nudo N477, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 1.471 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 34.045 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 14.92 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.047 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.054 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.139 m del nudo N477, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

N_{c,Ed} : 1.601 t

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{c,Rd} : 34.045 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 14.92 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{29.680} \text{ t}$$

Donde:

A : Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{14.92} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.87}$$

$$\chi_z : \underline{0.87}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\Phi_y : \underline{0.66}$$

$$\Phi_z : \underline{0.66}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.45}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.45}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{178.333} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{178.333} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{178.333} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.260 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.332 m del nudo N477, para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.261 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.332 m del nudo N477, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.268 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 1.030 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 45.17 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.053 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.332 m del nudo N477, para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM4(180°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.051 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.332 m del nudo N477, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

M_{Ed} : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed} : \underline{0.054} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{1.030} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} : \underline{45.17} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.027} \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.332 m del nudo N477, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.340} \text{ t}$

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{12.513} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{9.50} \text{ cm}^2$

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$A : \underline{14.92} \text{ cm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.064} \text{ t}$$

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{12.513} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{9.50} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{14.92} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.319 t ≤ 6.257 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.319 t

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{c,Rd} : 12.513 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.064 t ≤ 6.257 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.064 t

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{c,Rd} : 12.513 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.329 ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.251 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.332 m del nudo N477, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

Donde:

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 1.468 t

M_{y,Ed}, **M_{z,Ed}**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{y,Ed} : 0.268 t·m

M_{z,Ed} : 0.026 t·m

Clase : 1

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : 34.045 \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : 1.030 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : 1.030 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} : -0.233 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : 515.08 \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : 45.17 \text{ cm}^3$$

A: Área de la sección bruta.

$$A : 14.92 \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : 1.030 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.319 \text{ t} \leq 6.210 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : 0.319 \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : 12.421 \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.084 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : 0.075 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : \underline{0.889} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión. $W_T : \underline{67.52} \text{ cm}^3$
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$
 $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$
Siendo:
 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.004} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.332 m del nudo N477, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.049} \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed} : \underline{0.007} \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : \underline{12.422} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd} : \underline{12.513} \text{ t}$
 $\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed} : \underline{9.63} \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión. $W_T : \underline{67.52} \text{ cm}^3$
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$
 $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.332 m del nudo N477, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.049 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.007 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 12.422 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 12.513 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 9.63 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 67.52 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

1.9 Tirante refuerzo estructura triangular

Se analiza el tirante de refuerzo de la estructura triangular sometido a mayor carga.

Barra N501/N214

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas					
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)		
Inicial	Final						
N501	N214	4.971	3.14	0.79	0.79	1.57	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	0.00	0.00	0.00	0.00		
	L _K	0.000	0.000	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N501/N214	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 4.509 m η = 21.2	x: 0.087 m η = 21.1	x: 2.299 m η = 4.1	M _{EEd} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 4.511 m η < 0.1	V _{EEd} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.364 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 2.299 m η = 25.2	x: 0.364 m η < 0.1	M _{EEd} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE η = 25.2
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 3.14 cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo mínimo, teniendo en cuenta que las longitudes de pandeo son nulas.

N_{cr} : ∞

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.212 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.509 m del nudo N501, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 1.710 t

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 8.082 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 3.14 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.211 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N501, para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 1.703 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{8.082} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo son nulas.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.041} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.299 m del nudo N501, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1.33} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.511 m del nudo N501, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.002} \text{ t}$$

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{4.666} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.001 \text{ t} \leq 2.333 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.364 m del nudo N501, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.001 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 4.666 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.252 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.299 m del nudo N501, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 1.702 t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+$: 0.001 t·m

$M_{z,Ed}^+$: 0.000 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$N_{pl,Rd}$: 8.082 t

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$: 0.034 t·m

$M_{pl,Rd,z}$: 0.034 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

No procede, dado que tanto las longitudes de pandeo como las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.364 m del nudo N501, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.001 \text{ t} \leq 2.333 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \frac{0.001}{\text{t}}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \frac{4.666}{\text{t}}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

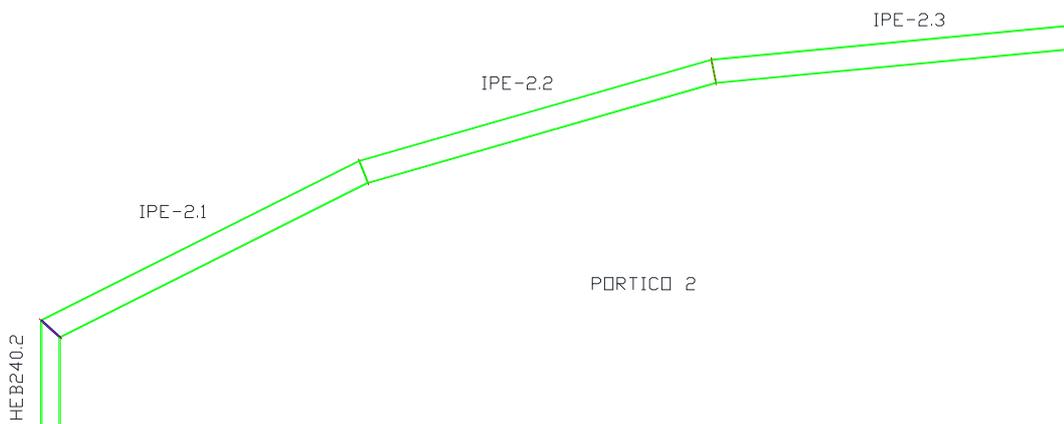
ANEXO II: Módulo 2 CTE

1. Pilar HEB 240
2. Vigas pórtico IPE 300
3. Correas # 160x80x6 mm
4. Tirantes cubierta R 20 mm
5. Tirantes laterales R 20 mm
6. Perfiles paramento lateral

1 Módulo nº2

A continuación, se muestran las comprobaciones E.L.U. (Estados Límite Últimos) del módulo nº2 bajo la legislación española CTE.

La estructura de módulo 2 al ser simétrica tanto respecto el plano yz como del plano zx se obtendrán las comprobaciones de los elementos de medio pórtico sometidas a mayores esfuerzos.



1.1 Pilar HEB 240 -2.

De los cuatro pilares que forman el módulo 2, solamente se mostraran las comprobaciones E.L.U. de uno, ya que el resto son idénticos y equivalentes.

Barra N142/N143

Perfil: HE 240 B, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N142	N143	1.356	150.00	13034.67	10801.67	16877.09
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		2.00	1.03	1.20	1.20	
L _k		2.712	1.400	1.632	1.632	
C _m		1.000	0.900	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$NM_y M_z$	$NM_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
N142/N143	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 1.185 m $\eta = 2.8$	x: 0.08 m $\eta = 2.8$	x: 1.187 m $\eta = 57.8$	x: 1.187 m $\eta = 1.4$	$\eta = 11.5$	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.187 m $\eta = 60.8$	$\eta < 0.1$	$\eta = 2.3$	x: 0.08 m $\eta = 1.5$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 60.8$
<p>Notación:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $NM_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $NM_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) 																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{0.36} \quad \checkmark$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 3102.855 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 14050.568 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 3102.855 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 90126.575 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 13034.67 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 10801.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 16877.09 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 487491.56 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.400 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{2.712} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.632} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.61} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{9.32} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{8.49} \text{ cm}$$

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$20.60 \leq 229.53 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{206.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{41.20} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{44.20} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.028} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.185 m del nudo N142, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{10.764} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{385.904} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.026} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.028} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.080 m del nudo N142, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{9.885} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{385.904} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{354.093} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{0.92}$$

$$\chi_T : \underline{1.00}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.51}$$

$$\phi_z : \underline{0.60}$$

$$\phi_T : \underline{0.47}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.17}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.36}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.07}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{3102.855} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{14050.568} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{3102.855} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{90126.575} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.578} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.187 m del nudo N142, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^+} : \underline{17.814} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.187 m del nudo N142, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^-} : \underline{11.510} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$\mathbf{M_{c,Rd}} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{M_{c,Rd}} : \underline{30.817} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\mathbf{Clase} : \underline{1}$$

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$\mathbf{W_{pl,y}} : \underline{1197.84} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbeltos $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.10}$$

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$\mathbf{M_{cr}} : \underline{3507.389} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral **M_{cr}** se determina según la teoría de la elasticidad:

$$\mathbf{M_{cr}} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv}: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$\mathbf{M_{LTv}} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$\mathbf{M_{LTv}} : \underline{3455.469} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTW}: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

M_{LTW} : 601.254 t·m

Siendo:

W_{el,y}: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

W_{el,y} : 1086.22 cm³

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 10801.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 16877.09 cm⁴

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_c⁺: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

L_c⁺ : 1.632 m

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

L_c⁻ : 1.632 m

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₁ : 1.00

i_{f,z}⁺: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

i_{f,z}⁺ : 8.35 cm

i_{f,z}⁻ : 8.35 cm

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.014 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.187 m del nudo N142, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁺ : 0.281 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.187 m del nudo N142, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 0.396 t·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

M_{c,Rd} : 28.032 t·m

Donde:

Clase : 1

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$W_{pl,z} : \underline{1089.60} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.115} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90º270º).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{11.570} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{68.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \epsilon$$

$$20.60 < 65.92 \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 20.60

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 65.92

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.94

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.294 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 126.848 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 85.40 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

15.29 < 65.92 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{15.29}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51 \text{ kp/cm}^2}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33 \text{ kp/cm}^2}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$11.570 \text{ t} \leq 50.502 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM6(90^\circ/270^\circ)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{11.570 \text{ t}}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003 \text{ t}}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.294 \text{ t} \leq 63.424 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.S$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.294 \text{ t}}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{126.848 \text{ t}}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.608 ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.558 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.187 m del nudo N142, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

Donde:

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 10.764 t

M_{y,Ed}, **M_{z,Ed}**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{y,Ed}⁺ : 17.814 t·m

M_{z,Ed}⁻ : 0.063 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a tracción.

N_{pl,Rd} : 385.904 t

M_{pl,Rd,y}, **M_{pl,Rd,z}**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{pl,Rd,y} : 30.817 t·m

M_{pl,Rd,z} : 28.032 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

M_{ef,Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{ef,Ed} : 17.126 t·m

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

σ_{com,Ed}: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

σ_{com,Ed} : 1429.75 kp/cm²

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

W_{y,com}: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

W_{y,com} : 1197.84 cm³

A: Área de la sección bruta.

A : 150.00 cm²

M_{b,Rd,y}: Momento flector resistente de cálculo.

M_{b,Rd,y} : 30.817 t·m

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$11.570 \text{ t} \leq 50.459 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{11.570} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{100.918} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.023} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.375} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{16.562} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.015} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.080 m del nudo N142, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.484} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.024} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{100.857} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{2.15} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y/\gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.079} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.024} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{126.741} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{1.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1895.50} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y/\gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

1.2 Vigas pórtico IPE 300

De las 12 vigas que componen los dos pórticos que forman el módulo 2, se muestran las comprobaciones E.L.U. de tres correspondiente con medio pórtico sometidas a mayores esfuerzos. Ya que, por simetría, el resto de vigas son idénticas.

- IPE 300 - 2.1.

Barra N143/N147

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 15.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N143	N147	0.994	137.80	13844.00	6135.00	13192.55
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.11	1.00	1.11	1.11		
L _K	1.100	0.994	1.100	1.100		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N143/N147	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 0.994 m $\eta = 4.1$	x: 0.135 m $\eta = 2.8$	x: 0.135 m $\eta = 63.2$	x: 0.135 m $\eta = 3.5$	x: 0.135 m $\eta = 3.4$	$\eta = 1.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.135 m $\eta = 67.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.3$	x: 0.135 m $\eta = 0.5$	x: 0.135 m $\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 67.4$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.19 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 10712.214 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 29599.318 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 10712.214 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 76698.201 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 13844.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 6135.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 13192.55 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 130116.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 0.994 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.100 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 1.100 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.04 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 10.02 cm

i_z : 6.67 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

14.02 ≤ 193.49 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 150.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 10.70 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 32.10 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 45.00 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.041 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N147, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 15.249 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 367.895 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 137.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.028 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N143, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90º270º)+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 10.237 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd}$: 367.895 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}$: 0.19

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 10712.214 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 29599.318 t

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 10712.214 t

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: 76698.201 t

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.632 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N143, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 19.215 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N143, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 12.658 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 30.417 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 1139.33 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.10

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr} : 3489.799 t·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

M_{LTV} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV} : \underline{3415.954} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTW} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTW} : \underline{714.109} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{922.93} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{6135.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{13192.55} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{6.66} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{6.66} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.035} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N143, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.802} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N143, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.734 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 23.037 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 862.88 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.034 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N143, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 5.438 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 162.309 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 105.30 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 18.57 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 18.57

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.014} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.719 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 34.02 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon \quad 16.82 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 16.82

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 5.438 \text{ t} \leq 81.154 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 5.438 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 162.309 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.719 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.719} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.674} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.599} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N143, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{15.213} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{19.215} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.014} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{367.895} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{30.417} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{23.037} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} : \underline{18.208} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{1598.17} \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{1139.33} \text{ cm}^3$$

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{137.80} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{30.417} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$5.438 \text{ t} \leq 81.032 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.
 $V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \underline{5.438} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{162.063} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.052} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{15.746} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1021.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N143, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.845} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.024} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{162.134} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{162.309} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{1.66} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1432.04} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N143, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.022} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.024} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.358} \text{ t}$$

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{2.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1021.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

• IPE 300 - 2.2.

Barra N144/N151

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas			
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N144	N151	1.102	109.80	12014.67	4192.67	9792.49
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	1.00	1.00		
L_K	1.100	1.102	1.100	1.100		
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C_1	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N144/N151	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 1.102 m $\eta = 5.1$	x: 0 m $\eta = 3.2$	x: 0 m $\eta = 61.3$	x: 0 m $\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 3.1$	x: 0.735 m $\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 63.8$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.2$	x: 0.551 m $\eta = 0.4$	x: 0.735 m $\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 63.8$

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t : Resistencia a tracción N_c : Resistencia a compresión M_y : Resistencia a flexión eje Y M_z : Resistencia a flexión eje Z V_z : Resistencia a corte Z V_y : Resistencia a corte Y $N M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t : Resistencia a torsión $M_y V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_z V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x : Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)														

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.21 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 7320.740 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 20902.516 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 7320.740 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 56282.099 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 12014.67 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 4192.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 9792.49 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 127219.56 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.102 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.100 m

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.100} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.15} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{10.46} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{6.18} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$27.86 \leq 400.96 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

A_w : Área del alma.

$$A_w : \underline{55.72} \text{ cm}^2$$

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{18.19} \text{ cm}^2$$

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.051} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N151, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{15.063} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{293.141} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{109.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.032} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.032} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N144, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{9.395} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{293.141} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{109.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{292.386} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{109.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$$\chi_T : \underline{1.00}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.49}$$

$$\phi_z : \underline{0.52}$$

$$\phi_T : \underline{0.47}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.12}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.07}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{20902.516} \text{ t}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{56282.099} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.613} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N144, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM4(180^\circ)$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{14.960} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N144, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM1(180^\circ) + 0.75 \cdot \text{Nieve}$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{10.280} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{914.33} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.10}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{2489.133} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{2432.943} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTW} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTW} : \underline{525.901} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

W_{el,y} : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.	W_{el,y} : <u>800.98</u> cm ³
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : <u>4192.67</u> cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>9792.49</u> cm ⁴
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>825688</u> kp/cm ²
L_c⁺ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.	L_c⁺ : <u>1.100</u> m
L_c⁻ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.	L_c⁻ : <u>1.100</u> m
C₁ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.	C₁ : <u>1.00</u>
i_{f,z}⁺ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.	i_{f,z}⁺ : <u>6.13</u> cm
	i_{f,z}⁻ : <u>6.13</u> cm

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.003 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N144, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁺ : 0.004 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N144, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX+0.3·SY.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 0.048 t·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

M_{c,Rd} : 16.029 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

W_{pl,z} : 600.38 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.031 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N144, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 3.733 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 119.150 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 77.30 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

27.86 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 27.86

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{máx}$: 64.71

$$\lambda_{máx} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.735 m del nudo N144, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX+0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.068 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 52.437 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 34.02 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

15.89 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 15.89

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

3.733 t ≤ 59.575 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 3.733 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 119.150 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.067 t ≤ 26.219 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX+0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.067 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 52.437 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.638 ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.594} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N144, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

Donde:

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{7.230} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{14.960} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.014} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{293.141} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{16.029} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

M_{ef,Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} : \underline{14.478} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

σ_{com,Ed}: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{1583.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

W_{y,com}: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{914.33} \text{ cm}^3$$

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{109.80} \text{ cm}^2$$

M_{b,Rd,y}: Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$3.733 \text{ t} \leq 59.534 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

V_{Ed,z}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{3.733} \text{ t}$$

V_{c,Rd,z}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{119.068} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX-0.3·SY.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.027 t·m

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd}$: 14.270 t·m

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 925.76 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.551 m del nudo N144, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.503 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.024 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 118.952 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 119.150 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 2.56 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$W_T : \underline{925.76} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.735 m del nudo N144, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.066} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.010} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.405} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.96} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{990.56} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

• IPE 300 - 2.3.

Barra N148/N156

Perfil: IPE 300 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N148	N156	1.051	53.80	8356.00	604.00	20.10
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.05	1.00	1.05	1.05	
L _K		1.100	1.051	1.100	1.100	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ̄	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N148/N156	λ̄ < 2.0 Cumple	λ _w ≤ λ _{w,máx} Cumple	x: 1.051 m η = 10.3	x: 0 m η = 6.8	x: 0.35 m η = 64.0	x: 0 m η = 1.7	x: 0 m η = 8.3	x: 0.35 m η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.35 m η = 68.5	η < 0.1	η = 0.2	x: 0.526 m η = 0.7	x: 0.35 m η = 0.2	CUMPLE η = 68.5
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : 0.38 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 53.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1054.634 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{15982.438} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1054.634} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{1420.672} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8356.00} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{604.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{20.10} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{126000.00} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{1.051} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.100} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.91} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{12.46} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.35} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z,

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$39.24 \leq 254.33 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.
A_w: Área del alma.
A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
E: Módulo de elasticidad.
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

t_w: 7.10 mm
A_w: 19.78 cm²
A_{fc,ef}: 16.05 cm²
k: 0.30
E: 2140673 kp/cm²
f_{yf}: 2803.26 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.103 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N156, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90º270º).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed}: 14.804 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd}: 143.634 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: 53.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.063 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.068 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N148, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

$$N_{c,Ed} : \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{9.066} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd} : \underline{143.634} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{134.247} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{0.93}$$

$$\chi_T : \underline{0.95}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.49}$$

$$\phi_z : \underline{0.60}$$

$$\phi_T : \underline{0.57}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

$$\alpha_z : \underline{0.34}$$

$$\alpha_T : \underline{0.34}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_y : 0.10$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.38$$

$$\bar{\lambda}_T : 0.33$$

$$N_{cr} : 1054.634 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 15982.438 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 1054.634 \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : 1420.672 \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.640 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.350 m del nudo N148, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM4(180°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 9.478 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.350 m del nudo N148, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 10.738 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 16.766 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 628.00 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 2669.77 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 2803.26 \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbeltas $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.33}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{157.045} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{41.837} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{151.370} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{557.07} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{604.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{20.10} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{3.94} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{3.94} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.017} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N148, para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX-0.3·SY.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.036} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N148, para la combinación de acciones PP+Cubierta+sx+0.3·SY.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.058} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{3.337} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} : \underline{125.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.083} \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N148, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{3.301} \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{25.67} \text{ cm}^2$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.
t_w: Espesor del alma.

h : 300.00 mm
t_w : 7.10 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

35.01 < **64.71** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 35.01

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte V (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.350 m del nudo N148, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX+0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.089 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

V_{c,Rd} : 52.437 t

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 34.02 cm²

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

A : 53.80 cm²

d: Altura del alma.

d : 278.60 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 7.10 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

3.301 t ≤ 19.784 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 3.301 t

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{c,Rd} : 39.567 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.089 t ≤ 26.219 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX+0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.089} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.685} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.626} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.350 m del nudo N148, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{6.273} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{10.738} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.004} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{143.634} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{16.766} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{3.337} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} : \underline{-10.153} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{1616.66} \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$$

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{16.250} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y , además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot C$ ubierta + $1.5 \cdot VM6(90^\circ/270^\circ)$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$3.301 \text{ t} \leq 19.766 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{3.301} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{39.532} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $PP + C$ ubierta-SX-0.3·SY.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.290} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.526 m del nudo N148, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.274} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{39.539} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{2.74} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.350 m del nudo N148, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.087} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.388} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{3.63} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : 18.79 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 2669.77 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 2803.26 \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

1.3 Correas # 160x80x6 mm

De las 26 correas instaladas en el módulo 2 se muestran las comprobaciones E.L.U de las 3 sometidas a mayores esfuerzos que coinciden con el cambio de dirección de la viga pórtico.

- # 160x80x6 2.0

Barra N143/N430

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N143	N430	3.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L_K	3.000	3.000	0.000	0.000		
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C_1	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$NM_y M_z$	$NM_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
N143/N430	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 1.0$	$\eta = 3.5$	x: 0.13 m $\eta = 2.4$	x: 0.13 m $\eta = 21.0$	x: 0.13 m $\eta = 0.3$	$\eta = 2.5$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.13 m $\eta = 24.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 2.6$	x: 0.13 m $\eta = 0.1$	x: 2.918 m $\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 24.1$

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_y V_z$	
<p>Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_y V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_z V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)</p>															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.98 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 65.594 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 195.575 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 65.594 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 3.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{3.000} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y₀, **z₀**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{4.80} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.593} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.019} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.035} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.169} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{33.164} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.80}$$

$$\chi_z : \underline{0.55}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\Phi_y : \underline{0.75}$$

$$\Phi_z : \underline{1.17}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.57}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.98}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{65.594} \text{ t}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{195.575} \text{ t}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{65.594} \text{ t}$$

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.024} \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N143, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.076 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 3.186 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 139.63 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.210 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N143, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.357 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N143, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.407 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 1.937 t·m

Donde:

Clase : 1

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.003} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N143, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.079} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

$$A_v : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.025 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.281 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 11.395 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 8.65 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 26.41 cm²

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.079 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.079} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.281 \text{ t} \leq 5.698 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.281} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.241} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.228} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N143, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.442} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.076} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.407} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} : \underline{-0.057} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{41.17} \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{com,Ed}} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

A : Área de la sección bruta.

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$W_{y,com}$: 139.63 cm³

A : 26.41 cm²

$M_{b,Rd,y}$: 3.186 t·m

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

0.281 t ≤ 5.653 t ✓

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed,y}$: 0.281 t

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd,y}$: 11.306 t

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.026 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.047 t·m

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd}$: 1.801 t·m

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 136.75 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N143, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.033 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.014 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 23.210 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 23.393 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 10.34 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 136.75 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.918 m del nudo N143, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 0.006 \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.005 \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : 11.366 \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : 11.395 \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : 3.43 \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 136.75 \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 2395.51 \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

- # 160x80x6 2.4

Barra N144/N129

Perfil: #160x80x6							
Material: Acero (S235)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N144	N129	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
	Notas:						
	⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado						
	⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L_K	6.000	6.000	0.000	0.000		
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000			
C_1	-		1.000				
Notación:							
β : Coeficiente de pandeo							
L_K : Longitud de pandeo (m)							
C_m : Coeficiente de momentos							
C_1 : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	$M_Y V_Z$	$M_Z V_Y$	$N M_Y M_Z$	$N M_Y M_Z V_Y V_Z$	M_t	$M_t V_Z$	$M_t V_Y$	
N144/N129	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$x: 0.092 \text{ m}$ $\lambda_w \leq \lambda_{w,\text{máx}}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 4.4$	$x: 3 \text{ m}$ $\eta = 3.7$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$x: 0.09 \text{ m}$ $\eta = 0.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$x: 0.092 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	$x: 3 \text{ m}$ $\eta = 6.1$	$x: 0.092 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 6.1$
<p>Notación:</p> <p>$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_Y: Resistencia a flexión eje Y M_Z: Resistencia a flexión eje Z V_Z: Resistencia a corte Z V_Y: Resistencia a corte Y $M_Y V_Z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_Z V_Y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_Y M_Z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_Y M_Z V_Y V_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_Z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_Y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) $N.P.$: No procede</p> <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p>																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{1.96} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{N_{cr}} : \underline{16.399} \text{ t}$$

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\mathbf{N_{cr,y}} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$\mathbf{N_{cr,z}} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\mathbf{N_{cr,T}} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$\mathbf{I_y} : \underline{833.12} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$\mathbf{I_z} : \underline{279.42} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$\mathbf{I_t} : \underline{701.04} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.	I_w : <u>911.32</u> cm ⁶
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>825688</u> kp/cm ²
L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} : <u>6.000</u> m
L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} : <u>6.000</u> m
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} : <u>0.000</u> m
i₀ : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i₀ : <u>6.49</u> cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y : <u>5.62</u> cm
y₀ , z₀ : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	i_z : <u>3.25</u> cm
	y₀ : <u>0.00</u> mm
	z₀ : <u>0.00</u> mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>148.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>6.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>17.76</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>4.80</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2395.51</u> kp/cm ²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.009 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.044 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX+0.3·SY.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.535 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 12.193 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.46

χ_z : 0.20

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\Phi_y : \underline{1.38}$$

$$\Phi_z : \underline{2.86}$$

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.037} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N144, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.119} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.090 m del nudo N144, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.084 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 23.393 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < **70.00** ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \epsilon$$

ϵ : Factor de reducción.

ϵ : 1.00

$$\epsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.081 t ≤ 11.697 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.092 m del nudo N144, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.081 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.036 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.047} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.061} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N144, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX+0.3·SY.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.535} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.088} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.02}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.04}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.092 m del nudo N144, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.081 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \frac{0.081}{t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \frac{23.393}{t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 160x80x6 2.8

Barra N148/N133

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N148	N133	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		6.000	6.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N148/N133	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.087 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 2.4	x: 3 m η = 3.7	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.085 m η = 0.4	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0.087 m η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	x: 3 m η = 4.4	x: 0.087 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE η = 4.4
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (6) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{833.12} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{279.42} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{701.04} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{911.32} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.
t_w: Espesor del alma.
A_w: Área del alma.
A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
E: Módulo de elasticidad.
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w : 148.00 mm
t_w : 6.00 mm
A_w : 17.76 cm²
A_{fc,ef} : 4.80 cm²
k : 0.30
E : 2140673 kp/cm²
f_{yf} : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.005 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.024 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX+0.3·SY.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

N_{c,Ed} : 0.287 t

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{c,Rd} : 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{12.193 \text{ t}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41 \text{ cm}^2}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44 \text{ kp/cm}^2}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51 \text{ kp/cm}^2}$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\Phi_y : \underline{1.38}$$

$$\Phi_z : \underline{2.86}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{16.399 \text{ t}}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{48.894 \text{ t}}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{16.399 \text{ t}}$$

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.037} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N148, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.119} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.004} \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.085 m del nudo N148, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.084} \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{17.76} \text{ cm}^2$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.082 t ≤ 11.697 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N148, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : 0.082 \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : 23.393 \text{ t}$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : 0.040 \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : 0.044 \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : 0.037 \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N148, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : 0.176 \text{ t}$
 $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^+ : 0.119 \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{z,Ed}^+ : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : 60.256 \text{ t}$
 $M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : 3.186 \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{pl,Rd,z} : 1.937 \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 26.41 cm²

W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 139.63 cm³
W_{pl,z} : 84.91 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.01}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N148, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.082 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.082} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y v momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 160x80x6 2.12

Barra N153/N137

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N153	N137	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	6.000	6.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N153/N137	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 0.9	x: 3 m η = 4.0	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.4	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0.375 m η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	x: 3 m η = 4.3	x: 0.375 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE η = 4.3
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 6.49 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 5.62 cm

i_z : 3.25 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 17.76 cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$: 4.80 cm²

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E : Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2395.51 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.002} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.009} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90º270º).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.113 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

N_{b,Rd} : 12.193 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.46

χ_z : 0.20

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

Φ_y : 1.38

Φ_z : 2.86

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.49

α_z : 0.49

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄_y : 1.14

λ̄_z : 1.96

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 16.399 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.040 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N153, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.126 t·m

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.000 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 3.186 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 139.63 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N153, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.084} \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$ $V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. $A_v : \underline{17.76} \text{ cm}^2$

$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$

Siendo:

d : Altura del alma. $d : \underline{148.00} \text{ mm}$

t_w : Espesor del alma. $t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$ $24.67 < 70.00$ ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma. $\lambda_w : \underline{24.67}$

$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$

$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$

ε : Factor de reducción. $\varepsilon : \underline{1.00}$

$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia. $f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N153, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 0.073 \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : 23.393 \text{ t}$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : 0.041$ ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : 0.043$ ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : 0.032$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N153, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed} : 0.106 \text{ t}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+ : 0.126 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed}^+ : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase : 1

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.01}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N153, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed,z}$: $\frac{0.073}{t}$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd,z}$: $\frac{23.393}{t}$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.4 Tirantes de cubierta, barras R 20 mm

De los seis pares de tirantes dispuesto en cruz se muestran las comprobaciones E.L.U del tirante sometido a mayores esfuerzos.

Barra N143/N129

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N143	N129	7.417	3.14	0.79	0.79	1.57
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
β	0.00	0.00	0.00	0.00			
L _K	0.000	0.000	0.000	0.000			
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000			
C ₁	-		1.000				
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N143/N129	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 8.1$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 8.1$

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
<p>Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede</p> <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p>															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$\mathbf{A} : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f}_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{N}_{cr} : \underline{\infty}$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.081} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX+0.3·SY.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N}_{t,Ed} : \underline{0.656} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$\mathbf{N}_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{N}_{t,Rd} : \underline{8.082} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$\mathbf{A} : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f}_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2701.33 kp/cm²
 γ_{Mo} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

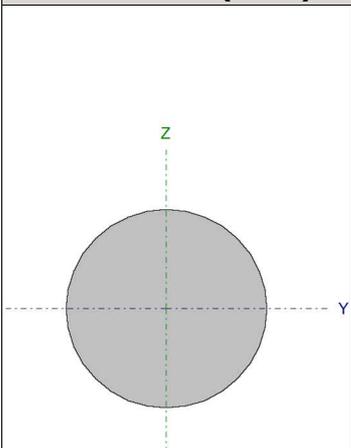
Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.5 Tirantes laterales, barras R 20 mm

Se muestra las comprobaciones E.L.U del tirante sometido a mayores esfuerzos.

Barra N142/N430

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N142	N430	3.292	3.14	0.79	0.79	1.57	
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	0.00	0.00	0.00	0.00		
	L_K	0.000	0.000	0.000	0.000		
	C_m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C_1	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z		M _t V _Y
N142/N430	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 0.7$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 0.7$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _Y : Resistencia a flexión eje Y M _Z : Resistencia a flexión eje Z V _Z : Resistencia a corte Z V _Y : Resistencia a corte Y M _Y V _Z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _Z V _Y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _Y M _Z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _Y M _Z V _Y V _Z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _Z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _Y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.														

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: $\underline{3.14} \text{ cm}^2$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: $\underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr}: $\underline{\infty}$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX+0.3·SY.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed}: $\underline{0.060} \text{ t}$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd}: $\underline{8.082} \text{ t}$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: $\underline{3.14} \text{ cm}^2$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: $\underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: $\underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: $\underline{1.05}$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.6 Perfiles paramento lateral, # 160x80x6 mm

Se muestra las comprobaciones E.L.U. del perfil sometido a mayores esfuerzos de los dos paramentos laterales que forman el módulo 2.

Barra N142/N429

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N142	N429	3.000	26.41	833.12	279.42	701.04	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L _K	3.000	3.000	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N142/N429	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 1.924 m η = 0.3	x: 1.924 m η = 1.2	x: 0.13 m η = 2.6	x: 2.92 m η = 19.1	x: 0.13 m η = 0.3	η = 2.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 2.92 m η = 20.3	η < 0.1	η = 3.0	x: 0.13 m η = 0.2	x: 0.13 m η = 0.1	CUMPLE η = 20.3
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.98} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 65.594 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

$N_{cr,y} : \underline{195.575 \text{ t}}$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

$N_{cr,z} : \underline{65.594 \text{ t}}$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

$N_{cr,T} : \underline{\infty}$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$I_y : \underline{833.12 \text{ cm}^4}$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$I_z : \underline{279.42 \text{ cm}^4}$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t : \underline{701.04 \text{ cm}^4}$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$I_w : \underline{911.32 \text{ cm}^6}$

E : Módulo de elasticidad.

$E : \underline{2140673 \text{ kp/cm}^2}$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$G : \underline{825688 \text{ kp/cm}^2}$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$L_{ky} : \underline{3.000 \text{ m}}$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$L_{kz} : \underline{3.000 \text{ m}}$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$L_{kt} : \underline{0.000 \text{ m}}$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$i_0 : \underline{6.49 \text{ cm}}$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$i_y : \underline{5.62 \text{ cm}}$

$i_z : \underline{3.25 \text{ cm}}$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$y_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$

$z_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$24.67 \leq 515.67 \checkmark$

Donde:

h_w: Altura del alma.
t_w: Espesor del alma.
A_w: Área del alma.
A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
E: Módulo de elasticidad.
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w: 148.00 mm
t_w: 6.00 mm
A_w: 17.76 cm²
A_{fc,ef}: 4.80 cm²
k: 0.30
E: 2140673 kp/cm²
f_{yf}: 2395.51 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.003 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.924 m del nudo N142, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX+0.3·SY.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed}: 0.153 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd}: 60.256 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.007 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.012 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.924 m del nudo N142, para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX-0.3·SY.

$$N_{c,Ed}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{0.406} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{33.164} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.80}$$

$$\chi_z : \underline{0.55}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\Phi_y : \underline{0.75}$$

$$\Phi_z : \underline{1.17}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_y : 0.57$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.98$$

$$N_{cr} : 65.594 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 195.575 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 65.594 \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.026 \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N142, para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX-0.3·SY.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 0.084 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 3.186 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 139.63 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 2395.51 \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.191 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.920 m del nudo N142, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁺ : 0.370 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.920 m del nudo N142, para la combinación de acciones

1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S+0.75·Nieve.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 0.324 t·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

M_{c,Rd} : 1.937 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

W_{pl,z} : 84.91 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.003 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N142, para la combinación de acciones

1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.079 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.022 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.255 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 11.395 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 8.65 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

A : 26.41 cm²

d: Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.33 < **70.00** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.079 t ≤ 11.697 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones

1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.079 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.255 t ≤ 5.698 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.255 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 11.395 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : **0.203** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : **0.128** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.203}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.920 m del nudo N142, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

N_{c,Ed} : $\underline{0.199}$ t

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{y,Ed}⁺ : $\underline{0.027}$ t·m

M_{z,Ed}⁺ : $\underline{0.370}$ t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : $\underline{1}$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

N_{pl,Rd} : $\underline{60.256}$ t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{pl,Rd,y} : $\underline{3.186}$ t·m

M_{pl,Rd,z} : $\underline{1.937}$ t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

A : $\underline{26.41}$ cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

W_{pl,y} : $\underline{139.63}$ cm³

W_{pl,z} : $\underline{84.91}$ cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : $\underline{2281.44}$ kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : $\underline{2395.51}$ kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : $\underline{1.05}$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$

k_y : $\underline{1.00}$

$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$

k_z : $\underline{1.00}$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y} : $\underline{1.00}$

C_{m,z} : $\underline{1.00}$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : $\underline{0.80}$

χ_z : $\underline{0.55}$

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

λ̄_y : $\underline{0.57}$

λ̄_z : $\underline{0.98}$

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : $\underline{0.60}$

α_z : $\underline{0.60}$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y , además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.P.$

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.255 \text{ t} \leq 5.672 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.255} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{11.344} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.030} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.P.$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.054} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.801} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N142, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.039} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.008} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{23.287} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{5.97} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.130 m del nudo N142, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.010} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.008} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{11.344} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{5.97} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

ANEXO III: Módulo 7 CTE

1. Pilares HEB
2. Correas # 160x80x6 mm
3. Vigas pórtico IPE 300
4. Tirantes cubierta R 20 mm
5. Marco frontal

Modulo nº7

A continuación, se muestran las comprobaciones E.L.U. del módulo nº7 bajo la legislatura española CTE.

La estructura de módulo 7 al ser simétrica tanto respecto el plano yz como del plano zx se obtendrán las comprobaciones de los elementos de medio pórtico.

1.1 Pilares HEB

Comprobaciones E.L.U del pilar sometido a mayores esfuerzos.

- Pilar HEB 7.1

Barra N330/N331

Perfil: HE 240 B, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N330	N331	0.329	150.00	13034.67	10801.67	16877.09
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	2.00	4.26	4.96	4.96		
L _K	0.658	1.400	1.632	1.632		
C _m	1.000	0.900	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N330/N331	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 0.158 m $\eta = 3.1$	x: 0 m $\eta = 3.3$	x: 0 m $\eta = 39.1$	x: 0 m $\eta = 2.9$	$\eta = 20.3$	$\eta = 0.9$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 40.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 4.8$	x: 0.158 m $\eta = 2.2$	$\eta = 0.2$	CUMPLE $\eta = 40.6$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.17 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 14050.568 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 14050.568 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 52709.515 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 90126.575 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 13034.67 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 10801.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 16877.09 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 487491.56 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.400 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 0.658 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 1.632 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.61 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 9.32 cm

i_z : 8.49 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al

y₀ : 0.00 mm

centro de gravedad de la sección.

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 20.60 \leq 229.53 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>206.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>10.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>41.20</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>44.20</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2701.33</u> kp/cm ²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.031} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.158 m del nudo N330, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **N_{t,Ed}** : 11.846 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

N_{t,Rd} = A · f_{yd} **N_{t,Rd}** : 385.904 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>150.00</u> cm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2572.69</u> kp/cm ²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>2701.33</u> kp/cm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.033 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N330, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 12.746 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd}$: 385.904 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida. $\bar{\lambda}$: 0.17

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 14050.568 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 14050.568 t

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.
 $N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,z}$: 52709.515 t
 $N_{cr,T}$: 90126.575 t

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.391 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N330, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 9.596 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N330, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 12.052 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 30.817 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 1197.84 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbeltos $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.10

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr} : 3507.389 t·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv}: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

M_{LTv} : 3455.469 t·m

M_{LTw}: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

M_{LTw} : 601.254 t·m

Siendo:

W_{el,y}: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

W_{el,y} : 1086.22 cm³

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 10801.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 16877.09 cm⁴

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_c⁺: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

L_c⁺ : 1.632 m

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

L_c⁻ : 1.632 m

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₁ : 1.00

i_{f,z}⁺: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

i_{f,z}⁺ : 8.35 cm

i_{f,z}⁻ : 8.35 cm

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.029 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N330, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁺ : 0.421 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N330, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 0.823 t·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{28.032} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{1089.60} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.203} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{20.525} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{68.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 20.60 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{20.60}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.147} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{85.40} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_r} < 70 \cdot \varepsilon \quad 15.29 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{15.29}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_r}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 20.525 \text{ t} \leq 50.502 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM6(90^\circ/270^\circ)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{20.525} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 1.147 \text{ t} \leq 63.424 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : 1.147 t

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V_{c,Rd}** : 126.848 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.406} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.403} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N330, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

Donde:

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **N_{t,Ed}** : 0.563 t
M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}** : 12.052 t·m
M_{z,Ed} : 0.378 t·m
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a tracción. **N_{pl,Rd}** : 385.904 t
M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 30.817 t·m
M_{pl,Rd,z} : 28.032 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

M_{ef,Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{ef,Ed}** : -12.016 t·m

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

σ_{com,Ed}: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida. **σ_{com,Ed}** : 1003.12 kp/cm²

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

W_{y,com}: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y. **W_{y,com}** : 1197.84 cm³

A: Área de la sección bruta. **A** : 150.00 cm²

M_{b,Rd,y}: Momento flector resistente de cálculo. **M_{b,Rd,y}** : 30.817 t·m

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y , además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM6(90^\circ/270^\circ)$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$20.525 \text{ t} \leq 50.223 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{20.525} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{100.447} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.048} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(270^\circ)H.1.2.S.$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.788} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{16.562} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.158 m del nudo N330, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.239} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.155} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{100.057} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{13.91} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.235} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.155} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{126.150} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{8.18} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 1895.50 \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 2572.69 \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 2701.33 \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

1.2 Correas # 160x80x6 mm

De las 26 correas instaladas en el módulo 7 se obtienen las comprobaciones de las cuatro correas sometidas a mayores esfuerzos, coinciden con el cambio de dirección de la viga pórtico.

- # 160x80x6 7.0.0.

Barra N331/N335

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Inicial	Final	Longitud (m)	Características mecánicas			
			Área (cm ²)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_z^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)
N331	N335	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
L_K	6.000	6.000	6.000	0.000	0.000	
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
C_1	-			1.000		
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
N331/N335	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 7.4$	x: 5.87 m $\eta = 2.6$	x: 5.87 m $\eta = 0.3$	x: 5.87 m $\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 5.87 m $\eta = 9.3$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.3$	x: 5.87 m $\eta = 0.3$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 9.3$

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_y V_z$	$M_z V_y$	
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t : Resistencia a tracción N_c : Resistencia a compresión M_y : Resistencia a flexión eje Y M_z : Resistencia a flexión eje Z V_z : Resistencia a corte Z V_y : Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t : Resistencia a torsión $M_y V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_z V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x : Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

A_w : Área del alma.

$$A_w : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{4.80} \text{ cm}^2$$

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.015} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.074 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.899 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 12.193 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.46

χ_z : 0.20

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

ϕ_y : 1.38

ϕ_z : 2.86

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.026} \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.870 m del nudo N331, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.084} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.870 m del nudo N331, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.870 m del nudo N331, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.006} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.870 m del nudo N331, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : 0.087 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma. **d** : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 24.67 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. **λ_w** : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima. **λ_{máx}** : 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción. **ε** : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. **f_{ref}** : 2395.51 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.002} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{8.65} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \epsilon$$

$$13.33 < \underline{70.00} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{máx} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{máx} = 70 \cdot \epsilon$$

ε: Factor de reducción.

$$\epsilon : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.086 t ≤ 11.697 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.086 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.002 t ≤ 5.698 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.002 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 11.395 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.044 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.061} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.093} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 5.870 m del nudo N331, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.899} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.084} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.006} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.03}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.06}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM4(180^\circ)$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.086 \text{ t} \leq 11.696 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.086} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.392} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM4(180^\circ)$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.006} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.801} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 5.870 m del nudo N331, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.063} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{23.392} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.09} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.000} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{11.394} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 11.395 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 0.09 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 136.75 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

- # 160x80x6 7.1.4.

Barra N351/N352

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N351	N352	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	6.000	6.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N351/N352	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.087 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.7$	x: 3 m $\eta = 3.7$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.085 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.087 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3 m $\eta = 4.0$	x: 0.087 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 4.0$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.														

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 6.49 cm

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

y_o , z_o : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \underline{148.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{4.80} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yf} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.S + 0.75 \cdot \text{Nieve.}$$

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.130} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **$N_{t,Rd}$** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.088} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{12.193} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$\mathbf{f_{yd}} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M1}} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\mathbf{\chi} = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\mathbf{\chi_y} : \underline{0.46}$$

$$\mathbf{\chi_z} : \underline{0.20}$$

Siendo:

$$\mathbf{\Phi} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\mathbf{\phi_y} : \underline{1.38}$$

$$\mathbf{\phi_z} : \underline{2.86}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\mathbf{\alpha_y} : \underline{0.49}$$

$$\mathbf{\alpha_z} : \underline{0.49}$$

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\mathbf{\bar{\lambda}_y} : \underline{1.14}$$

$$\mathbf{\bar{\lambda}_z} : \underline{1.96}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$\mathbf{N_{cr}} : \underline{16.399} \text{ t}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\mathbf{N_{cr,y}} : \underline{48.894} \text{ t}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$\mathbf{N_{cr,z}} : \underline{16.399} \text{ t}$$

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\mathbf{N_{cr,T}} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.037} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N351, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^+} : \underline{0.119} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^-} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.085 m del nudo N351, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.084} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.082 t ≤ 11.697 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N351, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.082 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.039} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.040} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.029} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N351, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.080 t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+$: 0.119 t·m

$M_{z,Ed}^+$: 0.000 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd}$: 60.256 t

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$: 3.186 t·m

$M_{pl,Rd,z}$: 1.937 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

A : 26.41 cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y}$: 139.63 cm³

$W_{pl,z}$: 84.91 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.01}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N351, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.082 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.082 \text{ t}}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393 \text{ t}}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 160x80x6 7.1.8.

Barra N333/N337

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N333	N337	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		6.000	6.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N333/N337	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.087 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 11.2	x: 3 m η = 3.7	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.085 m η = 0.4	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0.087 m η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	x: 3 m η = 13.5	x: 0.087 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE η = 13.5
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (6) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: **1.96** ✓

Donde:

Clase : 1

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{833.12} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{279.42} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{701.04} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{911.32} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y₀, z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

t_w: Espesor del alma.

A_w: Área del alma.

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \underline{148.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{4.80} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yf} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.023} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.112} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM4(180^\circ) + 0.75 \cdot \text{Nieve}.$$

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.365} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{12.193} \text{ t}$$

Donde:

A : Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\Phi_y : \underline{1.38}$$

$$\Phi_z : \underline{2.86}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.037 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N333, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.119 t·m

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.000 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 3.186 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 139.63 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.085 m del nudo N333, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.084 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. $A_v : \underline{17.76} \text{ cm}^2$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma. $d : \underline{148.00} \text{ mm}$

t_w : Espesor del alma. $t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 24.67 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma. $\lambda_w : \underline{24.67}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción. $\varepsilon : \underline{1.00}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia. $f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.082 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N333, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.082} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.060}$ ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.088}$ ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.135}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N333, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM4(180°)+0.75·Nieve.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed} : \underline{1.365} \text{ t}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.119} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.04}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.09}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.087 m del nudo N333, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.082 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.082} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 160x80x6 2.1.12.

Barra N363/N364

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N363	N364	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	6.000	6.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N363/N364	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	η = 0.2	η = 5.7	x: 3 m η = 4.0	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 0.4	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.375 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 3 m η = 8.1	x: 0.375 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE η = 8.1
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.														

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 6.49 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

y_0 , z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \underline{148.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{4.80} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yf} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.093} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **$N_{t,Rd}$** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.012 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.057 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

N_{c,Ed} : 0.697 t

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{c,Rd} : 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

N_{b,Rd} : 12.193 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{1.38}$$

$$\phi_z : \underline{2.86}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N363, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N363, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.084} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.
 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²
 f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.073 t ≤ 11.697 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N363, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.073 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.051} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.065} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.081} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N363, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 0.697 t

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}**⁺ : 0.126 t·m
M_{z,Ed}⁺ : 0.000 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. **N_{pl,Rd}** : 60.256 t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 3.186 t·m

M_{pl,Rd,z} : 1.937 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 26.41 cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 139.63 cm³

W_{pl,z} : 84.91 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : 1.05

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

k_y : 1.02

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.05}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N363, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.073} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.3 Vigas pórtico IPE 300

De las 12 vigas que componen los dos pórticos que forman el módulo 7, se obtienen las comprobaciones E.L.U. de las tres correspondiente con el medio pórtico situado al exterior de la estructura metálica. Estas tres vigas al estar conectadas con el marco frontal son las que más carga deben de soportar.

De cada viga las comprobaciones E.L.U. se realizan para los segmentos entre correas que forman cada viga sometidos a mayores esfuerzos.

- IPE 300 - 7.1.

Barra N335/N348

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 15.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N335	N348	1.191	137.80	13844.00	6135.00	13192.55
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.92	1.00	0.92	0.92	
L _K		1.100	1.191	1.100	1.100	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z	M _z V _y	
N335/N348	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 1.191 m η = 0.9	x: 0.135 m η = 1.3	x: 0.135 m η = 4.1	x: 0.135 m η = 3.7	x: 0.135 m η = 1.6	x: 0.135 m η = 0.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.135 m η = 6.4	η < 0.1	η = 2.0	x: 0.135 m η = 0.2	η = 0.1	CUMPLE η = 6.4
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: 0.19 ✓

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 10712.214 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 20619.973 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 10712.214 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 76698.201 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 13844.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 6135.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 13192.55 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 130116.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.191 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.100 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 1.100 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.04 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 10.02 cm

i_z : 6.67 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al

y₀ : 0.00 mm

centro de gravedad de la sección.

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

14.02 ≤ 193.49 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 150.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 10.70 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 32.10 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 45.00 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.009 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N348, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 3.395 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 367.895 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 137.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.013 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N335, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 4.769 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd}$: 367.895 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}$: 0.19

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 10712.214 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 20619.973 t

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 10712.214 t

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: 76698.201 t

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.041 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N335, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 1.042 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N335, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 1.236 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 30.417 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 1139.33 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbeltos $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.10

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr} : 3489.799 t·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{3415.954} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTW} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTW} : \underline{714.109} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{922.93} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{6135.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{13192.55} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{6.66} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{6.66} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.037} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N335, para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.552} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N335, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

M_{Ed} : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed} : 0.845 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 23.037 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 862.88 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.016 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N335, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 2.589 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 162.309 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 105.30 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

18.57 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$\lambda_w : \underline{18.57}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$\varepsilon : \underline{0.92}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$f_{ref} : \underline{2395.51}$ kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26}$ kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.008}$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N335, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.431}$ t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{52.437}$ t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{34.02}$ cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77}$ kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2803.26 kp/cm²
 γ_{Mo} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

16.82 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 16.82

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

2.589 t ≤ 81.154 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 2.589 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 162.309 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.431 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.431} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.064} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.056} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.051} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N335, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{4.487} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.964} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.466} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{367.895} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{30.417} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{23.037} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{137.80} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{1139.33} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{862.88} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.19}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM3(90^\circ 270^\circ) + 0.75 \cdot \text{Nieve}.$$

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$2.589 \text{ t} \leq 80.914 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{2.589} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{161.829} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.020} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.310 t·m

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

M_{T,Rd} : 15.746 t·m

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1021.52 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N335, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.275 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.047 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 161.967 t

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd} : 162.309 t

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

τ_{T,Ed} : 3.25 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1432.04 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.066} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.047} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.282} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{4.56} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1021.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

- IPE 300 - 7.2.

Barra N352/N354

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N352	N354	1.139	109.80	12014.67	4192.67	9792.49
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.97	1.00	0.97	0.97	
L _K		1.100	1.139	1.100	1.100	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	λ̄	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N352/N354	λ̄ < 2.0 Cumple	λ _w ≤ λ _{w,máx} Cumple	x: 1.139 m η = 0.8	x: 0 m η = 1.0	x: 1.139 m η = 2.0	x: 1.139 m η = 1.0	x: 1.139 m η = 1.1	x: 0 m η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.139 m η = 3.3	η < 0.1	η = 1.9	x: 1.139 m η = 0.1	x: 0 m η = 0.1	CUMPLE η = 3.3
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : **0.21** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

Clase : 1

A : 109.80 cm²

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr} : 7320.740 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 19566.552 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{56282.099} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{12014.67} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{4192.67} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{9792.49} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{127219.56} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{1.139} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.100} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.15} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{10.46} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{6.18} \text{ cm}$$

y₀ , **z₀**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$27.86 \leq 400.96 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{55.72} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{18.19} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.008} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N354, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{2.242} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{293.141} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{109.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N352, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 2.880 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 293.141 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 292.386 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 1.00

χ_z : 1.00

χ_T : 1.00

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

φ_y : 0.49

φ_z : 0.52

φ_T : 0.47

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.49

α_z : 0.49

α_T : 0.49

λ̄: Esbeltez reducida.

λ̄_y : 0.13

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.07}$$

$$N_{cr} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{19566.552} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{56282.099} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.020} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N354, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM5(0^\circ)$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.444} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N354, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM2(0^\circ) + 0.75 \cdot Nieve$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.477} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{914.33} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.10}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{2489.133} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{2432.943} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTW} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTW} : \underline{525.901} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{800.98} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{4192.67} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{9792.49} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{6.13} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{6.13} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N354, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁺ : 0.165 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N354, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 0.143 t·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

M_{c,Rd} : 16.029 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

W_{pl,z} : 600.38 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.011 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N354, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.255 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 119.150 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 77.30 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2803.26 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

27.86 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 27.86

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.
 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²
 f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N352, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.079 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 52.437 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 34.02 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$15.89 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{15.89}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.330 \text{ t} \leq 59.575 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM6(90^\circ 270^\circ)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.330} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{119.150} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.079 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.079} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.033} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.030} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.025} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N354, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{2.290} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.444} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.104} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{293.141} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{16.029} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{109.80} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{914.33} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{600.38} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{2803.26 \text{ kp/cm}^2}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.13}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM6(90^\circ/270^\circ)$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.330 \text{ t} \leq 59.461 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.
 $V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.330 \text{ t}}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{118.923 \text{ t}}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.019} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.271} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd} : \underline{14.270} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{925.76} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.001} \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N354, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.102} \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.029} \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : \underline{118.907} \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : \underline{119.150} \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{3.14} \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{925.76} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N352, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.052 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.029 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 52.337 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 52.437 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 2.94 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 990.56 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

- IPE 300 - 7.3.

Barra N337/N358

Perfil: IPE 300 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N337	N358	0.864	53.80	8356.00	604.00	20.10
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		0.864	0.864	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N337/N358	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 0.864 m η = 1.5	x: 0 m η = 1.6	x: 0 m η = 2.8	x: 0 m η = 6.7	x: 0 m η = 3.3	x: 0 m η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 7.8	η < 0.1	η = 22.4	x: 0 m η = 0.2	x: 0 m η = 0.1	CUMPLE η = 22.4
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.30} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase: 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A: 53.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr}: 1709.462 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y}: 23649.446 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1709.462} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8356.00} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{604.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{20.10} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{126000.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{0.864} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{0.864} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.91} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{12.46} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.35} \text{ cm}$$

y₀, **z₀**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$39.24 \leq 254.33 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{19.78} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{16.05} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.015} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N358, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{2.106} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{143.634} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.016} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.016} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N337, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 2.270 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 143.634 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 53.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 138.635 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 53.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 1.00

χ_z : 0.97

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

φ_y : 0.49

φ_z : 0.56

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.21

α_z : 0.34

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄_y : 0.08

λ̄_z : 0.30

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr} : \underline{1709.462} \text{ t}$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y} : \underline{23649.446} \text{ t}$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z} : \underline{1709.462} \text{ t}$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T} : \underline{\infty}$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.028} \checkmark$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N337, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM6(90^\circ 270^\circ)$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.448} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N337, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM3(90^\circ 270^\circ) + 0.75 \cdot Nieve$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.470} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{16.766} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.067 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N337, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.209 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N337, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.225 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 3.337 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 125.00 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.033 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N337, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.313 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 39.567 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 25.67 cm²

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

h : 300.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 7.10 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

35.01 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 35.01

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : 0.004 ✓

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N337, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : 0.219 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 52.437 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : 34.02 cm²

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : 53.80 cm²

d: Altura del alma. **d** : 278.60 mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : 7.10 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

1.313 t ≤ 19.784 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : 1.313 t

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V_{c,Rd}** : 39.567 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.219 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 0.219 \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : 52.437 \text{ t}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : 0.078$ ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : 0.065$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N337, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed} : 1.011 \text{ t}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+ : 0.106 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed}^- : 0.214 \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$N_{pl,Rd} : 143.634 \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y} : 16.766 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : 3.337 \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{ef,Ed} : 0.012 \text{ t}\cdot\text{m}$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$\sigma_{com,Ed} : 1.86 \text{ kp/cm}^2$

$$\sigma_{\text{com,Ed}} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

A : Área de la sección bruta.

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$$W_{y,com} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$$

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

$$M_{b,Rd,y} : \underline{16.766} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.313 \text{ t} \leq 19.715 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.313} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{39.430} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.224} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.065} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.290} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N337, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.083 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.003 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 39.430 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 39.567 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 13.34 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 18.79 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N337, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.047} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.003} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.255} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{13.34} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

1.4 Tirantes de cubierta, barras R 20 mm

De los seis pares de tirantes dispuesto en cruz se muestra las comprobaciones E.L.U. del tirante sometido a mayor esfuerzo.

Barra N331/N336

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N331	N336	6.837	3.14	0.79	0.79	1.57
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
L _K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N331/N336	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	η = 23.9	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE η = 23.9
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \mathbf{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A: 3.14 cm²
f_y: 2701.33 kp/cm²
N_{cr}: ∞

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η: 0.239 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed}: 1.929 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd}: 8.082 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: 3.14 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.5 Marco frontal

Se muestran las comprobaciones E.L.U. de los perfiles correspondientes a medio marco frontal y sometidos a mayores esfuerzos.

Barra N438/N454

Perfil: # 80x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N438	N454	1.477	16.81	148.00	148.00	251.29
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
β	Pandeo		Pandeo lateral		C _m	C ₁
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	1.00	1.00	0.00	0.00	1.000	-
L _K	1.477	1.477	0.000	0.000		
	1.000	1.000	1.000	1.000		
	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)												Estado			
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z		M _t	M _t V _z	M _t V _y
N438/N454	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.185 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 1.477 m η = 6.6	x: 0 m η = 9.8	x: 1.477 m η = 0.3	x: 0.923 m η = 17.4	η < 0.1	x: 0 m η = 3.7	x: 0.185 m η < 0.1	x: 0.185 m η < 0.1	x: 0.923 m η = 20.2	x: 0.185 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE η = 20.2
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽²⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \mathbf{0.53} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

- A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A : 16.81 cm²
f_y : 2395.51 kp/cm²
N_{cr} : 143.331 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

- a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

N_{cr,y} : 143.331 t

- b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

N_{cr,z} : 143.331 t

- c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

N_{cr,T} : ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 148.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 148.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 251.29 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 1.14 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.477 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.477 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 4.20 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 2.97 cm

i_z : 2.97 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

11.33 ≤ 349.54 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

t_w: Espesor del alma.

A_w: Área del alma.

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w : 68.00 mm

t_w : 6.00 mm

A_w : 8.16 cm²

A_{fc,ef} : 4.80 cm²

k : 0.30

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf} : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.066 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N454, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 2.529 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 38.354 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 16.81 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : 0.081 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.098 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N438, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 3.094 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 38.354 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 16.81 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 31.681 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 16.81 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.83

χ_z : 0.83

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\phi_y : 0.72$$

$$\phi_z : 0.72$$

$$\alpha_y : 0.49$$

$$\alpha_z : 0.49$$

$$\bar{\lambda}_y : 0.53$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.53$$

$$N_{cr} : 143.331 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 143.331 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 143.331 \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.003 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N454, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM5(0^\circ)$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 0.003 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N454, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM2(0^\circ)$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 0.003 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 1.127 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 49.39 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.174 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.923 m del nudo N438, para la combinación de acciones

0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.159 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.923 m del nudo N438, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.196 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 1.127 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 49.39 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.002} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{10.748} \text{ t}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{8.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{68.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$11.33 < \underline{70.00} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{11.33}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{máx} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{máx} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.037 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N438, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.418 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 11.395 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 8.65 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

A : 16.81 cm²

d: Altura del alma.

d : 68.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.33 < **70.00** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 70.00

$$\lambda_{máx} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.002 t ≤ 5.374 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.185 m del nudo N438, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.002 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 10.748 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.336 t ≤ 5.698 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.185 m del nudo N438, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.336 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 11.395 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : 0.196 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.132} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.202} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.923 m del nudo N438, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.S+0.75·Nieve.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.824} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.196} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{38.354} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.127} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.127} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{16.81} \text{ cm}^2$$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{49.39} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{49.39} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.01}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.83}$$

$$\chi_z : \underline{0.83}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\begin{array}{l} \bar{\lambda}_y : \underline{0.53} \\ \bar{\lambda}_z : \underline{0.53} \\ \alpha_y : \underline{0.60} \\ \alpha_z : \underline{0.60} \end{array}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.185 m del nudo N438, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.S.$

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.336 \text{ t} \leq 5.698 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.336} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd,y} : \underline{11.395} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

ANEXO IV: Módulo 1 DTR

10. Pilares HEB
11. Vigas pórtico IPE 300
12. Correas #160x80x6 mm
13. Tirantes de cubierta R 20mm
14. Tirantes laterales R 20mm
15. Cerramiento lateral
16. Marco frontal
17. Estructura triangular de refuerzo
18. Tirante de refuerzo estructura triangular

1 Módulo nº1

A continuación, se muestran las comprobaciones E.L.U. del módulo nº1 bajo la legislatura española DTR.

La estructura de módulo 1 al ser simétrica tanto respecto el plano yz como del plano zx se obtendrán las comprobaciones de los elementos de medio pórtico.

1.1 Pilares HEB

Por simetría se analizarán los pilares correspondientes a medio modulo.

Barra N225/N461

Perfil: HE 240 B, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N225	N461	1.000	150.00	13034.67	10801.67	16877.09
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	2.00	1.40	0.00	0.00		
L _K	2.000	1.400	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N225/N461	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 1 m η = 2.0	x: 0 m η = 3.0	x: 0 m η = 21.5	x: 0 m η = 3.5	η = 6.1	x: 0 m η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 23.9	η < 0.1	η = 7.9	x: 1 m η = 1.0	x: 1 m η = 0.1	CUMPLE η = 23.9
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.27} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 5705.331 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 14050.568 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 5705.331 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 13034.67 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 10801.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 16877.09 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 487491.56 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.400 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 2.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.61 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 9.32 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

i_z : 8.49 cm

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$20.60 \leq 229.53 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{206.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{41.20} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{44.20} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.020} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N461, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{7.879} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{385.904} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.029 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.030 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N225, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 11.194 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 385.904 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 372.859 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : 1.00

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\chi_z : \underline{0.97}$$

$$\phi_y : \underline{0.51}$$

$$\phi_z : \underline{0.55}$$

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.17}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.27}$$

$$N_{cr} : \underline{5705.331} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{14050.568} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{5705.331} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.215} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N225, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM4(180°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{6.445} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N225, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{6.625} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{30.817} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$$W_{pl,y} : \underline{1197.84} \text{ cm}^3$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.035} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N225, para la combinación de acciones
 $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.S + 0.75 \cdot \text{Nieve}1$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.654} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N225, para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.P$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.971} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{28.032} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{1089.60} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.061 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 6.123 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 101.003 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 68.00 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

20.60 < **65.92** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 20.60

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 65.92

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 0.94

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N225, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.529 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 126.848 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 85.40 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

15.29 < 65.92 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 15.29

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 65.92

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.94

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$6.123 \text{ t} \leq 50.502 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{6.123} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.529 \text{ t} \leq 63.424 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.529} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.239}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.233}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.161}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N225, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

N_{c,Ed} : 10.021 t

M_{y,Ed}, **M_{z,Ed}**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{y,Ed}⁺ : 6.104 t·m

M_{z,Ed}⁻ : 0.422 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

N_{pl,Rd} : 385.904 t

M_{pl,Rd,y}, **M_{pl,Rd,z}**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{pl,Rd,y} : 30.817 t·m

M_{pl,Rd,z} : 28.032 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

A : 150.00 cm²

W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

W_{pl,y} : 1197.84 cm³

W_{pl,z} : 1089.60 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

k_y, **k_z**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

k_y : 1.00

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

k_z : 1.00

C_{m,y}, **C_{m,z}**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y} : 1.00

C_{m,z} : 1.00

χ_y, **χ_z**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : 1.00

χ_z : 0.97

λ̄_y, **λ̄_z**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

λ̄_y : 0.17

λ̄_z : 0.27

α_y, **α_z**: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : 0.60

α_z : 0.60

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y , además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM1(180^\circ) + 0.75 \cdot Nieve1$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$6.123 \text{ t} \leq 50.366 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{6.123} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{100.731} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.079} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(180^\circ)H.1.1.P$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{1.304} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{16.562} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N461, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.006} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.073} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{100.556} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{6.58} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N461, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.121} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.073} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{126.518} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{3.87} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1895.50 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Barra N461/N226

Perfil: HE 240 B, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N461	N226	0.632	150.00	13034.67	10801.67	16877.09
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo			Pandeo lateral		
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	2.00	1.40	2.58	2.58	
	L_K	1.264	0.885	1.632	1.632	
	C_m	1.000	1.000	1.000	1.000	
C_1	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N461/N226	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 0.632 m $\eta = 1.6$	x: 0 m $\eta = 2.4$	x: 0.632 m $\eta = 14.2$	x: 0 m $\eta = 2.7$	$\eta = 13.2$	x: 0 m $\eta = 1.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.632 m $\eta = 16.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 2.1$	x: 0 m $\eta = 3.2$	x: 0 m $\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 16.7$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: 0.17 ✓

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 14283.895 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 35177.076 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 14283.895 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 90126.575 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 13034.67 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 10801.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 16877.09 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 487491.56 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 0.885 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.264 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 1.632 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.61 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 9.32 cm

i_z : 8.49 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z,

y₀ : 0.00 mm

respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

20.60 ≤ 229.53 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 206.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 10.00 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 41.20 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 44.20 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2701.33 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.016 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N226, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 6.089 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 385.904 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 150.00 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.024 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N461, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 9.249 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd}$: 385.904 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida. $\bar{\lambda}$: 0.17

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 14283.895 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 35177.076 t

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 14283.895 t

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: 90126.575 t

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.142 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N226, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 2.881 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N226, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 4.366 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 30.817 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 1197.84 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbeltos $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.10

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr} : 3507.389 t·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv}: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{3455.469} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw}: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{601.254} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

W_{el,y}: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{1086.22} \text{ cm}^3$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{10801.67} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{16877.09} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c⁺: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.632} \text{ m}$$

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.632} \text{ m}$$

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

i_{f,z}⁺: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{8.35} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{8.35} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.027} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N461, para la combinación de acciones

1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.708} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N461, para la combinación de acciones

0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.761} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{28.032} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{1089.60} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.132} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{13.361} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{68.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$20.60 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{20.60}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N461, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.348} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{85.40} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$15.29 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{15.29}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$13.361 \text{ t} \leq 50.502 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{13.361} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.348 \text{ t} \leq 63.424 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.348 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 126.848 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.167 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : 0.166 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : 0.110 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N226, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 9.148 t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}$: 4.366 t·m

$M_{z,Ed}^+$: 0.036 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd}$: 385.904 t

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$: 30.817 t·m

$M_{pl,Rd,z}$: 28.032 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

A : 150.00 cm²

$W_{pl,y}$, **$W_{pl,z}$** : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y}$: 1197.84 cm³

$W_{pl,z}$: 1089.60 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

k_y , **k_z** : Coeficientes de interacción.

k_y : 1.00

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.11}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.17}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$13.361 \text{ t} \leq 50.386 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{13.361} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{100.771} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.353} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{16.562} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.032} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N461, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.255} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.065} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{100.609} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{5.80} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.001}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N461, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.079 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.065 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 126.557 t

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd} : 126.848 t

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

τ_{T,Ed} : 3.41 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1895.50 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

1.2 Vigas pórtico IPE 300

De las 12 vigas que componen los dos pórticos que forman el módulo 1, se analizarán tres correspondiente con el medio pórtico situado al exterior de la estructura metálica. Estas tres vigas al estar conectadas con el marco frontal son las que más carga deben de soportar.

De cada viga las comprobaciones E.L.U. se realizan para los segmentos entre correas que forman cada viga. A continuación, se muestran las comprobaciones de los segmentos sometidos a mayores esfuerzos.

- IPE 300 - 1.1

Barra N226/N230

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 15.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N226	N230	1.173	137.80	13844.00	6135.00	13192.55
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.94	1.00	0.94	0.94		
L _K	1.100	1.173	1.100	1.100		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N226/N230	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 1.173 m η = 2.7	x: 0 m η = 4.2	x: 0 m η = 14.4	x: 0 m η = 3.1	x: 0 m η = 1.6	η = 0.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 18.7	η < 0.1	η = 0.4	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 0.1	CUMPLE η = 18.7
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.19 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 10712.214 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 21253.780 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 10712.214 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 76698.201 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 13844.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 6135.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 13192.55 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 130116.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.173 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.100 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 1.100 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.04 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 10.02 cm

i_z : 6.67 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad \mathbf{14.02 \leq 193.49 \checkmark}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>150.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>10.70</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>32.10</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>45.00</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2803.26</u> kp/cm ²
Siendo:	
$f_{yf} = f_y$	

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \mathbf{0.027 \checkmark}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N230, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

N_{t,Ed} : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	N_{t,Ed} : <u>9.794</u> t
---	--

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{t,Rd} : \mathbf{367.895 \text{ t}}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>137.80</u> cm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2669.77</u> kp/cm ²
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>2803.26</u> kp/cm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.042 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N226, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 15.571 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd}$: 367.895 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida. $\bar{\lambda}$: 0.19

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 10712.214 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 21253.780 t

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 10712.214 t

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: 76698.201 t

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.144 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N226, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 2.931 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N226, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 4.375 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 30.417 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 1139.33 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbeltoces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.10

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr} : 3489.799 t·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv}: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{3415.954} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw}: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{714.109} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

W_{el,y}: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{922.93} \text{ cm}^3$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{6135.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{13192.55} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c⁺: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

i_{f,z}⁺: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{6.66} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{6.66} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.031} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N226, para la combinación de acciones

1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.408} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N226, para la combinación de acciones

0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.713} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{23.037} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{862.88} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.016} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N226, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.532} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{162.309} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{105.30} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$18.57 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.57}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.413} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{34.02} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon \quad \mathbf{16.82 < 64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{16.82}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \mathbf{2.532 \text{ t} \leq 81.154 \text{ t}} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.532} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{162.309} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \mathbf{0.413 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t}} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : 0.413 \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : 52.437 \text{ t}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : 0.187 \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : 0.187 \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : 0.130 \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N226, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : 15.571 \text{ t}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed} : 4.375 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo, según el eje Z, respectivamente. $M_{z,Ed} : 0.021 \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : 367.895 \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : 30.417 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,z} : 23.037 \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. $A : 137.80 \text{ cm}^2$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{pl,y} : 1139.33 \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $W_{pl,z} : 862.88 \text{ cm}^3$
 $f_{yd} : 2669.77 \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : 2803.26 \text{ kp/cm}^2$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M1} : 1.05$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$k_y : 1.00$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.13}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.19}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$2.532 \text{ t} \leq 81.149 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{2.532} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{162.297} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.056} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{15.746} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1021.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N226, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.646} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{162.301} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{162.309} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.08} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1432.04} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.001}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N226, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.040}$ t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.001}$ t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.434}$ t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : \underline{52.437}$ t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{0.11}$ kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{1021.52}$ cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77}$ kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26}$ kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

- IPE 300 - 1.2.

Barra N227/N234

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N227	N234	1.139	109.80	12014.67	4192.67	9792.49	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	0.97	1.00	0.97	0.97		
	L _K	1.100	1.139	1.100	1.100		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	λ̄	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N227/N234	λ̄ < 2.0 Cumple	λ _w ≤ λ _{w,máx} Cumple	x: 1.139 m η = 4.0	x: 0 m η = 5.5	x: 0 m η = 8.1	x: 1.139 m η = 1.1	x: 0 m η = 1.5	x: 0 m η = 0.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 14.3	η < 0.1	η = 0.4	x: 0 m η = 0.3	x: 1.139 m η < 0.1	CUMPLE η = 14.3
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.21 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 7320.740 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 19566.552 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{56282.099} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{12014.67} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{4192.67} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{9792.49} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{127219.56} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{1.139} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.100} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.15} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{10.46} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{6.18} \text{ cm}$$

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$27.86 \leq 400.96 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{55.72} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{18.19} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N234, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{11.801} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{293.141} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{109.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.055} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.055} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N227, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 16.181 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 293.141 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 292.386 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 1.00

χ_z : 1.00

χ_T : 1.00

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

φ_y : 0.49

φ_z : 0.52

φ_T : 0.47

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.49

α_z : 0.49

α_T : 0.49

λ̄: Esbeltez reducida.

λ̄_y : 0.13

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.07}$$

$$N_{cr} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{19566.552} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{56282.099} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.081} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N227, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM5(0^\circ)$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.406} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N227, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM2(0^\circ) + 0.75 \cdot Nieve1$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{1.971} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{914.33} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.10}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{2489.133} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{2432.943} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTW} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTW} : \underline{525.901} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{800.98} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{4192.67} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{9792.49} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{6.13} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{6.13} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.011} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N234, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.P.$

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.180} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N234, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.S + 0.75 \cdot \text{Nieve}1.$

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.156} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{16.029} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} : \underline{600.38} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.015}$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N227, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM1(180^\circ) + 0.75 \cdot \text{Nieve}1.$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{1.740} \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{119.150} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{77.30} \text{ cm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2803.26 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

27.86 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 27.86

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.003 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N227, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.173 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 52.437 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 34.02 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2803.26 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

15.89 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 15.89

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.
 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²
 f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

1.740 t ≤ 59.575 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.740 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 119.150 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.173 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.173} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.143} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.140} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.110} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N227, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{16.181} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{1.971} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.106} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{293.141} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{16.029} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{109.80} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{914.33} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{600.38} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{2803.26 \text{ kp/cm}^2}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.13}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.740 \text{ t} \leq 59.558 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.740 \text{ t}}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{119.116 \text{ t}}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.054} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd} : \underline{14.270} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{925.76} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.003} \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N227, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.361} \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.004} \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : \underline{119.114} \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : \underline{119.150} \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{0.47} \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{925.76} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N234, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.011} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.004} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.422} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.45} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{990.56} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

- IPE 300 - 1.3.

Barra N231/N238

Perfil: IPE 300 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N231	N238	1.089	53.80	8356.00	604.00	20.10
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.01	1.00	1.01	1.01	
L _K		1.100	1.089	1.100	1.100	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N231/N238	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 1.089 m η = 8.4	x: 0 m η = 11.2	x: 0 m η = 7.8	x: 0 m η = 8.0	x: 0 m η = 3.5	x: 0 m η = 0.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 20.1	η < 0.1	η = 1.6	x: 0 m η = 0.7	x: 0 m η < 0.1	CUMPLE η = 20.1
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.38} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 53.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1054.634 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 14886.504 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1054.634} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{1420.672} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8356.00} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{604.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{20.10} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{126000.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{1.089} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.100} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.91} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{12.46} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.35} \text{ cm}$$

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$39.24 \leq 254.33 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{19.78} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{16.05} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.084} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N238, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{12.012} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{143.634} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.105} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.112} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N231, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 15.031 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$

$N_{c,Rd}$: 143.634 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 53.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$

$N_{b,Rd}$: 134.247 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 53.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 1.00

χ_z : 0.93

χ_T : 0.95

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

φ_y : 0.49

φ_z : 0.60

φ_T : 0.57

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.21

α_z : 0.34

α_T : 0.34

λ̄: Esbeltez reducida.

λ̄_y : 0.10

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.38}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.33}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{1054.634} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{14886.504} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1054.634} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{1420.672} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.078} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N231, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.210} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N231, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{1.316} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{16.766} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.33}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{157.045} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{41.837} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTW} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTW} : \underline{151.370} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{557.07} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{604.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{20.10} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{3.94} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{3.94} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.080} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N231, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.244} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N231, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.268} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{3.337} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} : \underline{125.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.035} \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N231, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{1.380} \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{25.67} \text{ cm}^2$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.
t_w: Espesor del alma.

h : 300.00 mm
t_w : 7.10 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

35.01 < **64.71** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 35.01

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte V (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.006 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N231, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.291 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

V_{c,Rd} : 52.437 t

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 34.02 cm²

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

A : 53.80 cm²

d: Altura del alma.

d : 278.60 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 7.10 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

1.380 t ≤ 19.784 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.380 t

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{c,Rd} : 39.567 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.291 t ≤ 26.219 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.291} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.195} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.190} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.201} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N231, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{15.031} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{1.316} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.040} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{143.634} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{16.766} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{3.337} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{125.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z , $k_{y,LT}$: Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.02}$$

$$k_{y,LT} : \underline{0.98}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$, $C_{m,LT}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,LT} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{0.93}$$

χ_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.10}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.38}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.380 \text{ t} \leq 19.770 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.380} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{39.540} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.016} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd} : \underline{0.290} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Z v momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.007} \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N231, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.291} \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : \underline{39.540} \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{2.68} \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N231, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.024} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.401} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{2.68} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

1.3 Correas # 160x80x6 mm

De las 26 correas instaladas en el módulo se muestran las comprobaciones de las cuatro correas s que más resistencia soportan de cada medio módulo. Las correas sometidas a más esfuerzos son las que coinciden con el cambio de dirección de las vigas del pórtico.

- # 160x80x6 1.1

Barra N227/N242

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N227	N242	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		6.000	6.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N227/N242	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta < 0.1$	$\eta = 31.3$	x: 3 m $\eta = 4.0$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3 m $\eta = 33.8$	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 33.8$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: **1.96** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 6.49 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 5.62 cm

i_z : 3.25 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

24.67 ≤ 515.67 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 17.76 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 4.80 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2395.51 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 0.9 \cdot V(90^\circ)H.1.2.P + 1.5 \cdot \text{Nieve1.}$$

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 0.000 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 60.256 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.063} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.313} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{3.813} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$Clase : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{12.193} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\chi_z : 0.20$$

$$\Phi_y : 1.38$$

$$\Phi_z : 2.86$$

$$\alpha_y : 0.49$$

$$\alpha_z : 0.49$$

$$\bar{\lambda}_y : 1.14$$

$$\bar{\lambda}_z : 1.96$$

$$N_{cr} : 16.399 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 48.894 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 16.399 \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.040 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N227, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 0.126 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 3.186 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 139.63 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N227, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.084 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$24.67 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{24.67}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N227, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.073} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.103} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.179} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.338} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N227, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{3.796} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.11}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.25}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\begin{array}{l} \bar{\lambda}_y : \underline{1.14} \\ \bar{\lambda}_z : \underline{1.96} \\ \alpha_y : \underline{0.60} \\ \alpha_z : \underline{0.60} \end{array}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N227, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.073} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 160x80x6 1.4

Barra N231/N223

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N231	N223	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		6.000	6.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ̄	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N231/N223	λ̄ < 2.0 Cumple	x: 0.375 m λ _w ≤ λ _{w,máx} Cumple	η < 0.1	η = 18.8	x: 3 m η = 4.0	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 0.4	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.375 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 3 m η = 21.2	x: 0.375 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE η = 21.2
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{833.12} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{279.42} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{701.04} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{911.32} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.
t_w: Espesor del alma.
A_w: Área del alma.
A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
E: Módulo de elasticidad.
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \underline{148.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{4.80} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yf} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.005} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.038} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.188} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
 $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.S + 0.75 \cdot Nieve1$.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{2.295 \text{ t}}$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd} : \underline{60.256 \text{ t}}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$ $N_{b,Rd} : \underline{12.193 \text{ t}}$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.46

χ_z : 0.20

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

φ_y : 1.38

φ_z : 2.86

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.49

α_z : 0.49

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N231, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N231, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.084 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 23.393 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < **70.00** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N231, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.073 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.077} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.124} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.212} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N231, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{2.283} \text{ t}$
 $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^+ : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 26.41 cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.07}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.15}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y} : \underline{1.00}$
 $C_{m,z} : \underline{1.00}$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\chi_y : \underline{0.46}$
 $\chi_z : \underline{0.20}$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$
 $\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección. $\alpha_y : \underline{0.60}$
 $\alpha_z : \underline{0.60}$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N231, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : 0.073 \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : 23.393 \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 160x80x6 1.8

Barra N235/N219

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N235	N219	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		6.000	6.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N235/N219	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta < 0.1$	$\eta = 6.2$	x: 3 m $\eta = 4.0$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3 m $\eta = 8.6$	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 8.6$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{1.96} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase: 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A: 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr}: 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{833.12} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{279.42} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{701.04} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{911.32} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.
 t_w : Espesor del alma.
 A_w : Área del alma.
 $A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.
 k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.
 E : Módulo de elasticidad.
 f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w : 148.00 mm
 t_w : 6.00 mm
 A_w : 17.76 cm²
 $A_{fc,ef}$: 4.80 cm²
 k : 0.30
 E : 2140673 kp/cm²
 f_{yf} : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 0.024 t

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 60.256 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 26.41 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.013} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.062} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

$$N_{c,Ed} : \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{0.761} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{12.193} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{1.38}$$

$$\phi_z : \underline{2.86}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N235, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N235, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.084 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ϵ : Factor de reducción.

ϵ : 1.00

$$\epsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.073 t ≤ 11.697 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N235, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.073 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.052 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : 0.067 ✓

η : 0.086 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N235, para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.S + 0.75 \cdot \text{Nieve1}$$

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.753} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.02}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.05}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N235, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : 0.073 \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : 23.393 \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.4 Tirantes de cubierta, barras R 20 mm

De los seis pares de tirantes dispuesto en cruz se muestran la comprobación E.L.U. del tirante de cubierta con mas carga.

Barra N241/N227

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N241	N227	7.544	3.14	0.79	0.79	1.57
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.00	0.00	0.00	0.00	
L _K		0.000	0.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)												Estado		
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N241/N227	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	η = 72.5	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE η = 72.5
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: $\frac{3.14}{\text{cm}^2}$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: $\frac{2701.33}{\text{kp/cm}^2}$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr}: ∞

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.725 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 5.860 t

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 8.082 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 3.14 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.5 Tirante laterales

Barra N427/N226

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N427	N226	3.415	3.14	0.79	0.79	1.57
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.00	0.00	0.00	0.00	
L _K		0.000	0.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z		M _t V _Y
N427/N226	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	η = 24.2	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE η = 24.2
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _Y : Resistencia a flexión eje Y M _Z : Resistencia a flexión eje Z V _Z : Resistencia a corte Z V _Y : Resistencia a corte Y M _Y V _Z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _Z V _Y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _Y M _Z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _Y M _Z V _Y V _Z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _Z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _Y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A: 3.14 cm²

f_y: 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: ∞

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.242 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 1.958 t

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 8.082 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 3.14 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z v fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.6 Cerramiento lateral

Barra N225/N427

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N225	N427	3.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		3.000	3.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _v V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N225/N427	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	η = 0.2	η = 4.4	x: 0 m η = 5.4	x: 3 m η = 20.9	x: 0 m η = 0.6	η = 2.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 25.4	η < 0.1	η = 1.7	x: 0 m η = 0.2	x: 1.714 m η = 0.1	CUMPLE η = 25.4
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _v V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.98} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{N_{cr}} : \underline{65.594} \text{ t}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\mathbf{N_{cr,y}} : \underline{195.575} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{65.594} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{833.12} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{279.42} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{701.04} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{911.32} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{3.000} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{3.000} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y₀, **z₀**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{4.80} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.109} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.024} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.044} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 1.447 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 33.164 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.80

χ_z : 0.55

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

φ_y : 0.75

φ_z : 1.17

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.49

α_z : 0.49

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄_y : 0.57

λ̄_z : 0.98

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr} : \underline{65.594} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{195.575} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{65.594} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.054} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N225, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.S + 0.75 \cdot \text{Nieve1}$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.083} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N225, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H.1.1.P$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.172} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.209 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N427, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.S+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.322 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N427, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.404 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 1.937 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 84.91 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.006 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N225, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.139 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. $A_v : \underline{17.76} \text{ cm}^2$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma. $d : \underline{148.00} \text{ mm}$

t_w : Espesor del alma. $t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 24.67 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma. $\lambda_w : \underline{24.67}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción. $\varepsilon : \underline{1.00}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia. $f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.023} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : 0.266 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : 8.65 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : 26.41 cm²

d: Altura del alma. **d** : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon \quad 13.33 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. **λ_w** : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima. **λ_{máx}** : 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción. **ε** : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. **f_{ref}** : 2395.51 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.139 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.139} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.266 \text{ t} \leq 5.698 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.266} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.251} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.183} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.254} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N225, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.P.

Donde:

N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : $\frac{1.133}{1}$ t
M_{y,Ed}, M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} : $\frac{0.139}{1}$ t·m
	M_{z,Ed} : $\frac{0.365}{1}$ t·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : $\frac{1}{1}$
N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : $\frac{60.256}{1}$ t
M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : $\frac{3.186}{1}$ t·m
	M_{pl,Rd,z} : $\frac{1.937}{1}$ t·m
Resistencia a pandeo : (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)	
A : Área de la sección bruta.	A : $\frac{26.41}{1}$ cm ²
W_{pl,y}, W_{pl,z} : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	W_{pl,y} : $\frac{139.63}{1}$ cm ³
	W_{pl,z} : $\frac{84.91}{1}$ cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : $\frac{2281.44}{1}$ kp/cm ²
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : $\frac{2395.51}{1}$ kp/cm ²
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M1} : $\frac{1.05}{1}$
k_y, k_z : Coeficientes de interacción.	
$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$	k_y : $\frac{1.01}{1}$
$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$	k_z : $\frac{1.03}{1}$
C_{m,y}, C_{m,z} : Factores de momento flector uniforme equivalente.	C_{m,y} : $\frac{1.00}{1}$
	C_{m,z} : $\frac{1.00}{1}$
χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	χ_y : $\frac{0.80}{1}$
	χ_z : $\frac{0.55}{1}$
λ̄_y, λ̄_z : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	λ̄_y : $\frac{0.57}{1}$
	λ̄_z : $\frac{0.98}{1}$
α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	α_y : $\frac{0.60}{1}$
	α_z : $\frac{0.60}{1}$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y , además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.P.$

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.266 \text{ t} \leq 5.682 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.266} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{11.363} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.017} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(180^\circ)H.1.1.P.$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.031} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.801} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N225, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.044} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{23.328} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{3.70} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.714 m del nudo N225, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.007} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{11.363} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{3.70} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

W_T : 136.75 cm³
 f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

1.7 Marco frontal

Se muestran las comprobaciones E.L.U. de los perfiles correspondientes a medio marco frontal, sometidos a más carga.

Barra N556/N557

Perfil: # 160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N556	N557	1.657	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	1.657	1.657	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N556/N557	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 1.657 m $\eta = 1.8$	x: 0 m $\eta = 1.2$	x: 0.621 m $\eta = 31.2$	x: 1.657 m $\eta = 5.9$	x: 1.657 m $\eta = 2.0$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.414 m $\eta = 33.5$	$\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 33.5$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alme inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽²⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.54 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 215.142 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 641.466 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 215.142 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.657 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.657 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 6.49 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 5.62 cm

i_z : 3.25 cm

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

24.67 ≤ 515.67 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w : 148.00 mm

t_w : 6.00 mm

A_w : 17.76 cm²

$A_{fc,ef}$: 4.80 cm²

k : 0.30

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf} : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.018 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N557, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 1.111 t

La resistencia de cálculo a tracción **$N_{t,Rd}$** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 60.256 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 26.41 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.010 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.012 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N556, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.580 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase: 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A: 26.41 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 49.352 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A: 26.41 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\chi_y : \underline{0.94}$$

$$\chi_z : \underline{0.82}$$

$$\phi_y : \underline{0.58}$$

$$\phi_z : \underline{0.73}$$

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.31}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.54}$$

$$N_{cr} : \underline{215.142} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{641.466} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{215.142} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.312} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.621 m del nudo N556, para la combinación de acciones

1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.992} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.621 m del nudo N556, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.994} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 139.63 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.059 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N557, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.114 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N557, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.114 t·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 1.937 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 84.91 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.020 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N557, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.466 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{\text{máx}}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\text{máx}} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\lambda_{\text{máx}} : \underline{70.00}$$

$$\varepsilon : \underline{1.00}$$

$$f_{\text{ref}} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot \text{PP} + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot \text{VM4}(180^\circ)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{\text{Ed}} : \underline{0.007} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{\text{c,Rd}}$ viene dado por:

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{\text{yd}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{\text{c,Rd}} : \underline{11.395} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{8.65} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{\text{yd}} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{\text{yd}} = f_y / \gamma_{\text{M0}}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{\text{M0}} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.218 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.218} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.007 \text{ t} \leq 5.698 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.007} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.335} \checkmark$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.331} \checkmark$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.213} \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.414 m del nudo N556, para la combinación de acciones
0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed} : \underline{0.573} \text{ t}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed} : \underline{0.993} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed} : \underline{0.027} \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

A : 26.41 cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$k_y : \underline{1.00}$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.94}$$

$$\chi_z : \underline{0.82}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.31}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.54}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.P$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.218 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.218} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.8 Estructura triangular de refuerzo

Se muestran las comprobaciones E.L.U. de los elementos de media estructura, ya que el resto por simetría son equivalentes.

Barra N489/N462

Perfil: O D170x5 Material: Acero (S235)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N489	N462	1.000	25.92	882.84	882.84	1765.67	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L _K	1.000	1.000	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z		M _t V _Y
N489/N462	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	η = 8.7	η = 8.2	x: 0 m η = 5.6	x: 0 m η = 20.6	x: 1 m η = 1.5	η = 5.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 33.6	η < 0.1	η = 1.3	x: 0 m η = 0.2	x: 0 m η = 0.2	CUMPLE η = 33.6
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _Y : Resistencia a flexión eje Y M _Z : Resistencia a flexión eje Z V _Z : Resistencia a corte Z V _Y : Resistencia a corte Y M _Y V _Z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _Z V _Y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _Y M _Z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _Y M _Z V _Y V _Z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _Z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _Y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.18} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{25.92} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1865.221 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

$N_{cr,y}$: 1865.221 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

$N_{cr,z}$: 1865.221 t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 882.84 cm⁴

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 882.84 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 1765.67 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E : Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G : Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.000 m

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.000 m

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_0 : 8.25 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 5.84 cm

i_z : 5.84 cm

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_0 : 0.00 mm

z_0 : 0.00 mm

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.087 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 5.147 t

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$

$N_{t,Rd}$: 59.131 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 25.92 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$

η : 0.082 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 4.871 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$

$N_{c,Rd}$: 59.131 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 25.92 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}$: 0.18

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A: 25.92 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr}: 1865.221 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y}: 1865.221 t

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z}: 1865.221 t

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T}: ∞

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.056 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N489, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁺: 0.175 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N489, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻: 0.156 t·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

M_{c,Rd}: 3.107 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

W_{pl,y}: 136.17 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.206 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N489, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.640 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N489, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.612 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 3.107 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 136.17 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.015} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N462, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.323} \text{ t}$$

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{21.734} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{16.50} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{25.92} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.052} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.125} \text{ t}$$

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{21.734} \text{ t}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{16.50} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{25.92} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.307 \text{ t} \leq 10.867 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.307} \text{ t}$$

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{21.734} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.125 \text{ t} \leq 10.867 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.125} \text{ t}$$

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{21.734} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.336} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.257} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.314} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N489, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

Donde:

N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : $\frac{4.871}{1}$ t
M_{y,Ed}, M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} ⁺ : $\frac{0.175}{1}$ t·m
	M_{z,Ed} ⁺ : $\frac{0.615}{1}$ t·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : $\frac{1}{1}$
N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : $\frac{59.131}{1}$ t
M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : $\frac{3.107}{1}$ t·m
	M_{pl,Rd,z} : $\frac{3.107}{1}$ t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A : Área de la sección bruta.	A : $\frac{25.92}{1}$ cm ²
W_{pl,y}, W_{pl,z} : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	W_{pl,y} : $\frac{136.17}{1}$ cm ³
	W_{pl,z} : $\frac{136.17}{1}$ cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : $\frac{2281.44}{1}$ kp/cm ²
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : $\frac{2395.51}{1}$ kp/cm ²
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M1} : $\frac{1.05}{1}$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.18}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.18}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$1.125 \text{ t} \leq 10.860 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{1.125} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{21.720} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.013} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.036} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{2.736} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{207.73} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N489, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.037 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.002 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 21.720 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 21.734 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 0.80 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 207.73 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N489, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 0.037 \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.002 \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : 21.720 \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : 21.734 \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : 0.80 \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 207.73 \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 2395.51 \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

Barra N490/N538

Perfil: O D150x5							
Material: Acero (S235)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N490	N538	1.028	22.78	599.31	599.31	1198.62
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00			
L_K	1.028	1.028	0.000	0.000			
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000			
C_1	-		1.000				
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
N490/N538	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\eta = 34.4$	$\eta = 31.6$	x: 1.028 m $\eta = 6.1$	x: 1.028 m $\eta = 16.5$	x: 1.028 m $\eta = 1.3$	$\eta = 3.5$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.028 m $\eta = 55.2$	$\eta < 0.1$	$\eta = 5.3$	x: 1.028 m $\eta = 0.2$	x: 1.028 m $\eta = 0.2$	CUMPLE $\eta = 55.2$

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$NM_y M_z$	$NM_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_y V_z$	
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N_t : Resistencia a tracción N_c : Resistencia a compresión M_y : Resistencia a flexión eje Y M_z : Resistencia a flexión eje Z V_z : Resistencia a corte Z V_y : Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $NM_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $NM_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t : Resistencia a torsión $M_y V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_z V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x : Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)														

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.21 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 22.78 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1198.157 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 1198.157 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 1198.157 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 599.31 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 599.31 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 1198.62 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.028 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.028 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : 7.25 cm

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 5.13 cm

i_z : 5.13 cm

y_o , **z_o**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : 0.00 mm

z_o : 0.00 mm

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.344 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 17.892 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 51.963 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 22.78 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.314 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.316} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{16.314} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$\mathbf{N_{c,Rd}} = A \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{51.963} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\mathbf{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{22.78} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$\mathbf{N_{b,Rd}} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{N_{b,Rd}} : \underline{51.609} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{22.78} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M1}} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\mathbf{\chi_y} : \underline{0.99}$$

$$\mathbf{\chi_z} : \underline{0.99}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\mathbf{\phi_y} : \underline{0.53}$$

$$\mathbf{\phi_z} : \underline{0.53}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.21}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr} : \underline{1198.157} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{1198.157} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1198.157} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.061} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N538, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.102} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N538, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.146} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{2.399} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{105.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.165 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N538, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.397 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N538, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.378 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 2.399 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 105.17 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.013 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N538, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.S + 0.75 \cdot \text{Nieve1}$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.240} \text{ t}$$

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{19.099} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{14.50} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{22.78} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.035} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H.1.1.P$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.671} \text{ t}$$

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{19.099} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{14.50} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{22.78} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.225 t ≤ 9.550 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.225 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 19.099 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.671 t ≤ 9.550 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.671 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 19.099 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.552 ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.165 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N538, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

Donde:

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 17.892 t

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{y,Ed}⁺ : 0.102 t·m

M_{z,Ed}⁺ : 0.397 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a tracción.

N_{pl,Rd} : 51.963 t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{pl,Rd,y} : 2.399 t·m

M_{pl,Rd,z} : 2.399 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

M_{ef,Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{ef,Ed} : 0.000 t·m

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

σ_{com,Ed}: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

σ_{com,Ed} : 0.00 kp/cm²

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A} < 0 \rightarrow \sigma_{com,Ed} = 0$$

W_{y,com}: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

W_{y,com} : 105.17 cm³

A: Área de la sección bruta.

A : 22.78 cm²

M_{b,Rd,y}: Momento flector resistente de cálculo.

M_{b,Rd,y} : 2.399 t·m

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

0.671 t ≤ 9.547 t ✓

Donde:

V_{Ed,y}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed,y} : 0.671 t

V_{c,Rd,y}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{c,Rd,y} : 19.094 t

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.053 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.111 t·m

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

M_{T,Rd} : 2.105 t·m

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 159.82 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N538, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.037 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.001 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 19.094 t

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd} : 19.099 t

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

τ_{T,Ed} : 0.39 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{159.82} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N538, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.037} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{19.094} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{19.099} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.39} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{159.82} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Barra N464/N461

Perfil: O D100x5 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N464	N461	1.000	14.92	168.81	168.81	337.62
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		1.000	1.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N464/N461	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	η = 32.1	η = 21.7	x: 1 m η = 10.0	x: 1 m η = 38.2	x: 1 m η = 1.4	η = 3.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 1 m η = 59.7	η < 0.1	η = 4.3	x: 1 m η = 0.4	x: 1 m η = 0.4	CUMPLE η = 59.7
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.32 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 14.92 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 356.658 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 356.658 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{356.658 \text{ t}}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{168.81 \text{ cm}^4}$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{168.81 \text{ cm}^4}$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{337.62 \text{ cm}^4}$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{0.00 \text{ cm}^6}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673 \text{ kp/cm}^2}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688 \text{ kp/cm}^2}$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{1.000 \text{ m}}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.000 \text{ m}}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000 \text{ m}}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{4.76 \text{ cm}}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{3.36 \text{ cm}}$$

$$i_z : \underline{3.36 \text{ cm}}$$

y₀, **z₀**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

$$z_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.321} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM2(0^\circ) + 0.75 \cdot \text{Nieve1}$$

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{10.928 \text{ t}}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{34.045} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{14.92} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.204} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.217} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{6.959} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{34.045} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{14.92} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{32.025 \text{ t}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{14.92 \text{ cm}^2}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44 \text{ kp/cm}^2}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51 \text{ kp/cm}^2}$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.94}$$

$$\chi_z : \underline{0.94}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\Phi_y : \underline{0.58}$$

$$\Phi_z : \underline{0.58}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.32}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.32}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{356.658 \text{ t}}$$

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{356.658 \text{ t}}$$

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{356.658 \text{ t}}$$

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.100} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo

N461, para la combinación de acciones

0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.067} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N461, para la combinación de acciones $1.35\cdot PP+1.35\cdot\text{Cubierta}+1.5\cdot VM2(0^\circ)+0.75\cdot\text{Nieve1}$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.103} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{1.030} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : \underline{45.17} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.382}$ ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N461, para la combinación de acciones $1.35\cdot PP+1.35\cdot\text{Cubierta}+1.5\cdot V(180^\circ)H.1.1.P+0.75\cdot\text{Nieve1}$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.394} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N461, para la combinación de acciones $0.8\cdot PP+0.8\cdot\text{Cubierta}+1.5\cdot V(90^\circ)H.1.2.S$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.365} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{1.030} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 45.17 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.014 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N461, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.171 t

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 12.513 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 9.50 cm²

$A_v = 2 \cdot A / \pi$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 14.92 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.037} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.463} \text{ t}$$

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{12.513} \text{ t}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{9.50} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{14.92} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.155 \text{ t} \leq 6.257 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.155} \text{ t}$$

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{12.513} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.463 \text{ t} \leq 6.257 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones

$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H.1.1.P + 0.75 \cdot \text{Nieve}1.$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 0.463 \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : 12.513 \text{ t}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : 0.597$ ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : 0.369$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N461, para la combinación de acciones

$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.P + 0.75 \cdot \text{Nieve}1.$

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed} : 4.766 \text{ t}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed} : 0.091 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed} : 0.380 \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$N_{pl,Rd} : 34.045 \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y} : 1.030 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : 1.030 \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{ef,Ed} : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{0.00} \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A} < 0 \rightarrow \sigma_{com,Ed} = 0$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{45.17} \text{ cm}^3$$

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{14.92} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{1.030} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.463 \text{ t} \leq 6.248 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.463} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{12.497} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.043} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.038} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.889} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{67.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N461, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.045 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.003 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 12.478 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 12.513 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 3.76 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 67.52 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N461, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.045 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : 0.003 \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : 12.478 \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : 12.513 \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : 3.76 \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 67.52 \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : 2395.51 \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : 1.05$

Tubo tramado tridimensional

Perfil: O D100x5							
Material: Acero (S235)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N467	N466	1.414	14.92	168.81	168.81	337.62
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00			
L_k	1.414	1.414	0.000	0.000			
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000			
C_1	-		1.000				
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_k : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N467/N466	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 1.414 m $\eta = 2.7$	x: 0 m $\eta = 1.6$	x: 0 m $\eta = 3.3$	x: 0 m $\eta = 4.2$	x: 0 m $\eta = 0.3$	$\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 9.0$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.8$	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 9.0$

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_Y	M_z	V_z	V_Y	$M_Y V_z$	$M_z V_Y$	$NM_Y M_z$	$NM_Y M_z V_Y V_z$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_Y$	
<p>Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_Y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_Y: Resistencia a corte Y $M_Y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_Y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $NM_Y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $NM_Y M_z V_Y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_Y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)</p>															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.45 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 14.92 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 178.333 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 178.333 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 178.333 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 168.81 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 168.81 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 337.62 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.414 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.414} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{4.76} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{3.36} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.36} \text{ cm}$$

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.027} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N466, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.918} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{34.045} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{14.92} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.014} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.016 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N467, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.467 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 34.045 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 14.92 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 29.680 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 14.92 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.87

χ_z : 0.87

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\phi_y : 0.66$$

$$\phi_z : 0.66$$

$$\alpha_y : 0.49$$

$$\alpha_z : 0.49$$

$$\bar{\lambda}_y : 0.45$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.45$$

$$N_{cr} : 178.333 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 178.333 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 178.333 \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.033 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N467, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 0.034 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N467, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 0.031 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 1.030 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 45.17 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.042 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N467, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.043 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N467, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.038 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 1.030 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 45.17 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : 0.003 ✓

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N467, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.034 t

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 12.513 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 9.50 cm²

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

A : 14.92 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.050 t

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 12.513 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v = 2 \cdot A / \pi$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A_v : 9.50 cm²

A : 14.92 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.034 t ≤ 6.257 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.034 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 12.513 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.050 t ≤ 6.257 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.050 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 12.513 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.090} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.042} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N467, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

Donde:

N_{t,Ed} : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	N_{t,Ed} : <u>0.908</u> t
M_{y,Ed} , M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} : <u>0.030</u> t·m M_{z,Ed} : <u>0.035</u> t·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
N_{pl,Rd} : Resistencia a tracción.	N_{pl,Rd} : <u>34.045</u> t
M_{pl,Rd,y} , M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : <u>1.030</u> t·m M_{pl,Rd,z} : <u>1.030</u> t·m
Resistencia a pandeo : (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)	
M_{ef,Ed} : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.	M_{ef,Ed} : <u>-0.008</u> t·m

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

σ_{com,Ed}: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida. **σ_{com,Ed}** : 18.70 kp/cm²

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

W_{y,com}: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y. **W_{y,com}** : 45.17 cm³

A: Área de la sección bruta. **A** : 14.92 cm²

M_{b,Rd,y}: Momento flector resistente de cálculo. **M_{b,Rd,y}** : 1.030 t·m

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.050 \text{ t} \leq 6.251 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.050} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{12.503} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.008} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.889} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{67.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N467, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.012} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : \underline{12.503} \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : \underline{12.513} \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{1.13} \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{67.52} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.001} \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N467, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.012} \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : \underline{12.503} \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : \underline{12.513} \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{1.13} \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{67.52} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{Mo} : 1.05

1.9 Tirante refuerzo estructura triangular

Se muestra las comprobaciones E.L.U del tirante de refuerzo de la estructura triangular sometido a mayor carga.

Barra N564/N229

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_z^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N564	N229	2.339	3.14	0.79	0.79	1.57
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.00	0.00	0.00	0.00	
L_K		0.000	0.000	0.000	0.000	
C_m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C_1		-		1.000		
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
N564/N229	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 2.339 m $\eta = 23.9$	x: 0 m $\eta = 22.1$	x: 2.339 m $\eta = 5.1$	x: 2.339 m $\eta = 1.6$	x: 0 m $\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 28.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.9$	x: 2.339 m $\eta < 0.1$	x: 2.339 m $\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 28.7$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N_t : Resistencia a tracción N_c : Resistencia a compresión M_y : Resistencia a flexión eje Y M_z : Resistencia a flexión eje Z V_z : Resistencia a corte Z V_y : Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t : Resistencia a torsión $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x : Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase : } \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\text{A : } \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\text{f}_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo mínimo, teniendo en cuenta que las longitudes de pandeo son nulas.

$$\text{N}_{cr} : \underline{\infty}$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.239} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N229, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$\text{N}_{t,Ed} : \underline{1.931} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$\text{N}_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$\text{N}_{t,Rd} : \underline{8.082} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$\text{A : } \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\text{f}_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$\text{f}_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\text{f}_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.221} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N564, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

$$N_{c,Ed}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{1.784} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd} : \underline{8.082} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo son nulas.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.051} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N229, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

$$M_{Ed}^+ : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{Ed}^+ : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N229, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

$$M_{Ed}^- : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{Ed}^- : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \quad M_{c,Rd} : \underline{0.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$W_{pl,y} : \underline{1.33} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.016} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N229, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(180^\circ)H.1.1.P.$

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N229, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM2(0^\circ).$

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{1.33} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N564, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.002 t

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 4.666 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 3.14 cm²

$A_v = A$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 3.14 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM2(0°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.000 t

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{4.666} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. $A_v : \underline{3.14} \text{ cm}^2$

$A_v = A$

Siendo:

A : Área de la sección bruta. $A : \underline{3.14} \text{ cm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 0.002 \text{ t} \leq 2.333 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.002} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{4.666} \text{ t}$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 0.000 \text{ t} \leq 2.333 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM2(0°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : 0.000 \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : 4.666 \text{ t}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : 0.287 \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N564, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed} : 1.898 \text{ t}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed} : 0.001 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed} : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$N_{pl,Rd} : 8.082 \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y} : 0.034 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : 0.034 \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

No procede, dado que tanto las longitudes de pandeo como las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$0.002 \text{ t} \leq 2.333 \text{ t} \checkmark$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed,z} : 0.002 \text{ t}$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd,z} : 4.666 \text{ t}$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.009 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.000 t·m

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

M_{T,Rd} : 0.023 t·m

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1.57 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N229, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.001 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.000 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 4.666 t

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd} : 4.666 t

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

τ_{T,Ed} : 0.27 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1.57} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N229, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.001} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{4.666} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{4.666} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.27} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1.57} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

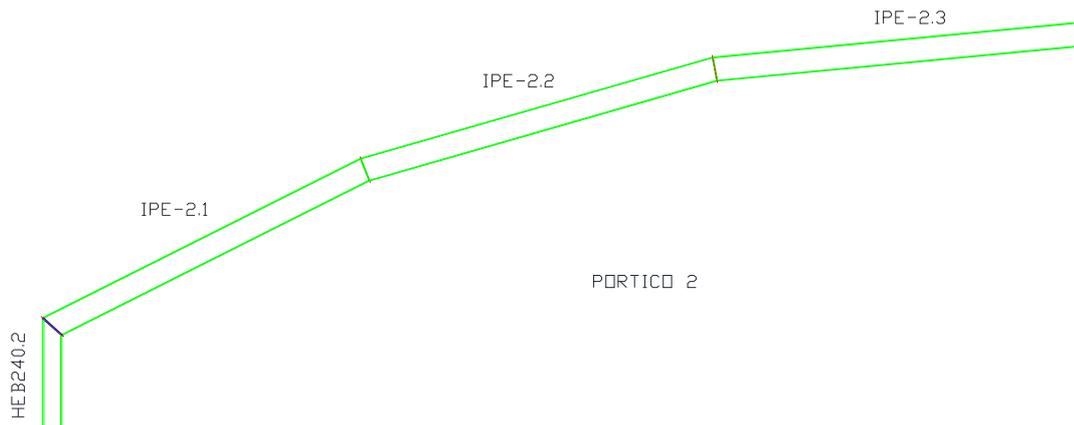
ANEXO V: Módulo 2 DTR

7. Pilar HEB 240
8. Vigas pórtico IPE 300
9. Correas # 160x80x6 mm
10. Tirantes cubierta R 20 mm
11. Tirantes laterales R 20 mm
12. Perfiles paramento lateral

1 Módulo nº2

A continuación, se muestran las comprobaciones E.L.U. del módulo nº2 bajo la legislación argentina DTR.

La estructura de módulo 2 al ser simétrica tanto respecto el plano yz como del plano zx se obtendrán las comprobaciones de los siguientes elementos:



1.1 Pilar HEB 240 -2.

De los cuatro pilares que forman el módulo 2, solamente se muestra uno, ya que el resto son idénticos i equivalentes.

Barra N158/N159

Perfil: HE 240 B, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N158	N159	1.356	150.00	13034.67	10801.67	16877.09
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	2.00	1.40	1.00	1.00	
	L _K	2.712	1.898	1.356	1.356	
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$		$M_t V_y$
N158/N159	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 1.356 m $\eta = 1.4$	x: 0 m $\eta = 2.0$	x: 1.356 m $\eta = 35.3$	x: 1.356 m $\eta = 1.0$	$\eta = 6.3$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.356 m $\eta = 36.5$	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.8$	x: 1.356 m $\eta = 1.8$	x: 0.678 m $\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 36.5$
<p>Notación:</p> <p>$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $N M_y M_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $N M_y M_z V_y V_z$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)</p>																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.36 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 3102.855 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 7641.428 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 3102.855 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 91218.013 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 13034.67 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 10801.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 16877.09 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 487491.56 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.898 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{2.712} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.356} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.61} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{9.32} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{8.49} \text{ cm}$$

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$20.60 \leq 229.53 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{206.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{41.20} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{44.20} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.014} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N159, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{5.415} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{385.904} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.018} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.020} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N158, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM1(180^\circ) + 0.75 \cdot \text{Nieve1}$.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{6.930} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{385.904} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{354.093} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.98}$$

$$\chi_z : \underline{0.92}$$

$$\chi_T : \underline{1.00}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.53}$$

$$\phi_z : \underline{0.60}$$

$$\phi_T : \underline{0.47}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.23}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.36}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.07}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{3102.855} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{7641.428} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{3102.855} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{91218.013} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.353} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N159, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H.1.1.P.$

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{10.883} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N159, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot VM2(0^\circ) + 0.75 \cdot \text{Nieve1}.$

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{10.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{30.817} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1197.84} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.09}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{4249.009} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{4158.795} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{870.922} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

W_{el,y}: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{1086.22} \text{ cm}^3$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{10801.67} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{16877.09} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c⁺: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.356} \text{ m}$$

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.356} \text{ m}$$

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

i_{f,z}⁺: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{8.35} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{8.35} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N159, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.S.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.279} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N159, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve1.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.255} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{28.032} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{1089.60} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2701.33 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.063 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 6.370 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 101.003 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 68.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

20.60 < 65.92 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 20.60

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 65.92

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.94

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.183 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 126.848 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 85.40 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

15.29 < 65.92 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 15.29

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 65.92

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.94

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

6.370 t ≤ 50.502 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 6.370 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 101.003 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.183 t ≤ 63.424 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.S.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.183 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 126.848 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.365 ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.345} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N159, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

Donde:

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.242} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{10.883} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.027} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{385.904} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{30.817} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{28.032} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

M_{ef,Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} : \underline{10.612} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

σ_{com,Ed}: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{885.93} \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

W_{y,com}: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{1197.84} \text{ cm}^3$$

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

M_{b,Rd,y}: Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{30.817} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$6.370 \text{ t} \leq 50.492 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

V_{Ed,z}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{6.370} \text{ t}$$

V_{c,Rd,z}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{100.985} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.018 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.P + 0.75 \cdot \text{Nieve}1.$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.294 t·m

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd}$: 16.562 t·m

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1115.00 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.018 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N159, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.837 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.006 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 100.964 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 101.003 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 0.58 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.678 m del nudo N158, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.032} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.006} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{126.820} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1895.50} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

1.2 Vigas pórtico IPE 300

De las 12 vigas que componen los dos pórticos que forman el módulo 2, se muestran las tres correspondiente con medio pórtico. Ya que, por simetría, el resto de vigas son idénticas.

De cada viga las comprobaciones E.L.U. se realizan para los segmentos entre correas que forman cada viga sometidos a mayores esfuerzos.

- IPE 300 - 2.1.

Barra N159/N163

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 15.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N159	N163	0.994	137.80	13844.00	6135.00	13192.55
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.11	1.00	1.11	1.11		
L _K	1.100	0.994	1.100	1.100		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z		M _t V _Y
N159/N163	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 0.994 m η = 2.1	x: 0 m η = 2.0	x: 0 m η = 35.9	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 2.4	η = 1.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 37.9	η < 0.1	η = 0.1	x: 0 m η = 0.5	x: 0 m η < 0.1	CUMPLE η = 37.9
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _Y : Resistencia a flexión eje Y M _Z : Resistencia a flexión eje Z V _Z : Resistencia a corte Z V _Y : Resistencia a corte Y M _Y V _Z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _Z V _Y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _Y M _Z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _Y M _Z V _Y V _Z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _Z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _Y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: 0.19 ✓

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 10712.214 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 29599.318 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 10712.214 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 76698.201 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 13844.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 6135.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 13192.55 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 130116.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 0.994 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.100 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 1.100 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.04 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 10.02 cm

i_z : 6.67 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z,

y₀ : 0.00 mm

respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

14.02 ≤ 193.49 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 150.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 10.70 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 32.10 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 45.00 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.021 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N163, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 7.662 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 367.895 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 137.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.020 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N159, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90º270º)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 7.209 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd}$: 367.895 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida. $\bar{\lambda}$: 0.19

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 10712.214 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 29599.318 t

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 10712.214 t

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: 76698.201 t

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.359 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N159, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 10.908 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N159, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 10.025 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 30.417 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 1139.33 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbeltos $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.10

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr} : 3489.799 t·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv}: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{3415.954} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw}: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{714.109} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

W_{el,y}: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{922.93} \text{ cm}^3$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{6135.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{13192.55} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c⁺: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

i_{f,z}⁺: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{6.66} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{6.66} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.029} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N159, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.S.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.574} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N159, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.679} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{23.037} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{862.88} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.024} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N159, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.919} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{162.309} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{105.30} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$18.57 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.57}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.012} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.P.$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.651} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{34.02} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon \quad \mathbf{16.82 < 64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{16.82}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \mathbf{3.919 \text{ t} \leq 81.154 \text{ t}} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.919} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{162.309} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \mathbf{0.651 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t}} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.651} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.379} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.342} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N159, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed} : \underline{7.621} \text{ t}$
 $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^+ : \underline{10.908} \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{z,Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción. $N_{pl,Rd} : \underline{367.895} \text{ t}$
 $M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{30.417} \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{23.037} \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{ef,Ed} : \underline{10.404} \text{ t}\cdot\text{m}$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida. $\sigma_{com,Ed} : \underline{913.14} \text{ kp/cm}^2$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y. $W_{y,com} : \underline{1139.33} \text{ cm}^3$

A : Área de la sección bruta. $A : \underline{137.80} \text{ cm}^2$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo. $M_{b,Rd,y} : \underline{30.417} \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y , además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM1(180^\circ) + 0.75 \cdot Nieve1$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$3.919 \text{ t} \leq 81.149 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{3.919} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{162.298} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.012} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{15.746} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1021.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N159, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.851} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{162.301} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{162.309} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.08} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1432.04} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N159, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.015} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.434} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.11} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$W_T : 1021.52 \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : 2669.77 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : 2803.26 \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

• IPE 300 - 2.2.

Barra N160/N167

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas			
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N160	N167	1.102	109.80	12014.67	4192.67	9792.49
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	1.00	1.00		
L_K	1.100	1.102	1.100	1.100		
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C_1	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _z V _y	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N160/N167	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 1.102 m $\eta = 2.6$	x: 0 m $\eta = 2.3$	x: 0 m $\eta = 36.8$	x: 0 m $\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 1.8$	x: 0.184 m $\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 38.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 0.5$	x: 0 m $\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 38.1$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _z V _y : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.21 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 7320.740 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 20902.516 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 7320.740 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 56282.099 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 12014.67 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 4192.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 9792.49 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 127219.56 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.102 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.100 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 1.100 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.15 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 10.46 cm

i_z : 6.18 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

27.86 ≤ 400.96 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

t_w: Espesor del alma.

A_w: Área del alma.

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w : 278.60 mm

t_w : 10.00 mm

A_w : 55.72 cm²

A_{fc,ef} : 18.19 cm²

k : 0.30

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.026 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 7.673 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 293.141 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 109.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.023 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.023 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 6.761 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 293.141 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 292.386 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$$\chi_T : \underline{1.00}$$

$$\phi_y : \underline{0.49}$$

$$\phi_z : \underline{0.52}$$

$$\phi_T : \underline{0.47}$$

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.12}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.07}$$

$$N_{cr} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{20902.516} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{56282.099} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.368} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{8.984} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{7.489} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{914.33} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.10}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{2489.133} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{2432.943} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{r,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{525.901} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{800.98} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{4192.67} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{9792.49} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}^+$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{6.13} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{6.13} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.003} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.S+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.039} \text{ t·m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.043} \text{ t·m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{16.029} \text{ t·m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{600.38} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.018 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 2.108 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 119.150 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 77.30 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

27.86 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 27.86

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.184 m del nudo N160, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.062 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 52.437 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 34.02 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

15.89 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 15.89

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$2.108 \text{ t} \leq 59.575 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 2.108 \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : 119.150 \text{ t}$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.062 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : 0.062 \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : 52.437 \text{ t}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : 0.381$ ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : 0.358$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N160, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{3.851} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{8.984} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{293.141} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{16.029} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} : \underline{8.728} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{954.54} \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{914.33} \text{ cm}^3$$

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{109.80} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$2.108 \text{ t} \leq 59.574 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{2.108} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{119.149} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.008} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd} : \underline{14.270} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{925.76} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.005} \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N160, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.565} \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : \underline{119.149} \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : \underline{119.150} \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{925.76} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Y v momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N160, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.008} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{990.56} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

- IPE 300 - 2.3.

Barra N164/N171

Perfil: IPE 300 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N164	N171	1.051	53.80	8356.00	604.00	20.10
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.05	1.00	1.05	1.05	
L _K		1.100	1.051	1.100	1.100	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ̄	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N164/N171	λ̄ < 2.0 Cumple	λ _w ≤ λ _{w,máx} Cumple	x: 1.051 m η = 5.2	x: 0 m η = 4.5	x: 0.35 m η = 39.7	x: 0 m η = 1.2	x: 1.051 m η = 6.1	x: 0.175 m η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.35 m η = 42.0	η < 0.1	x: 0.175 m η = 0.4	x: 0.876 m η = 1.0	x: 0 m η < 0.1	CUMPLE η = 42.0
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄ : **0.38** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 53.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1054.634 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 15982.438 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1054.634} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{1420.672} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8356.00} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{604.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{20.10} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{126000.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{1.051} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.100} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.91} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{12.46} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.35} \text{ cm}$$

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$39.24 \leq 254.33 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{19.78} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{16.05} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.052} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N171, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{7.510} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{143.634} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.042} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.045} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N164, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 6.076 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 143.634 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 53.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 134.247 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 53.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 1.00

χ_z : 0.93

χ_T : 0.95

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

φ_y : 0.49

φ_z : 0.60

φ_T : 0.57

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.21

α_z : 0.34

α_T : 0.34

λ̄: Esbeltez reducida.

λ̄_y : 0.10

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.38}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.33}$$

$$N_{cr} : \underline{1054.634} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{15982.438} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{1054.634} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{1420.672} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.397} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.350 m del nudo N164, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{6.117} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.350 m del nudo N164, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{6.656} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{16.766} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT} :$ 0.33

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$M_{cr} :$ 157.045 t·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$M_{LTv} :$ 41.837 t·m

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$M_{LTw} :$ 151.370 t·m

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$W_{el,y} :$ 557.07 cm³

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$I_z :$ 604.00 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t :$ 20.10 cm⁴

E : Módulo de elasticidad.

$E :$ 2140673 kp/cm²

G : Módulo de elasticidad transversal.

$G :$ 825688 kp/cm²

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$L_c^+ :$ 1.100 m

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$L_c^- :$ 1.100 m

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$C_1 :$ 1.00

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$i_{f,z}^+ :$ 3.94 cm

$i_{f,z}^- :$ 3.94 cm

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta :$ 0.012 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N164, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.040} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N164, para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.037} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{3.337} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} : \underline{125.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.061} \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N171, para la combinación de acciones

1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM6(90°270°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{2.422} \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{25.67} \text{ cm}^2$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$h : \underline{300.00} \text{ mm}$

t_w : Espesor del alma.

t_w : 7.10 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

35.01 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 35.01

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.175 m del nudo N164, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.057 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 52.437 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{34.02} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$2.412 \text{ t} \leq 19.784 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90º270º)+0.75·Nieve1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.412} \text{ t}$$

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.056 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.056} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 52.437 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.420 ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.391 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.350 m del nudo N164, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 3.316 t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}$: 6.656 t·m

$M_{z,Ed}$: 0.000 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$N_{pl,Rd}$: 143.634 t

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$: 16.766 t·m

$M_{pl,Rd,z}$: 3.337 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{ef,Ed}$: -6.346 t·m

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$\sigma_{com,Ed}$: 1010.52 kp/cm²

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$W_{y,com}$: 628.00 cm³

A: Área de la sección bruta.

A : 53.80 cm²

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$M_{b,Rd,y}$: 16.250 t·m

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90º270º)+0.75·Nieve1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$2.412 \text{ t} \leq 19.783 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{2.412} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{39.565} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.175 m del nudo N164, para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.290} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.876 m del nudo N164, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.393} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N164, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.001} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.435} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.17} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{18.79} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

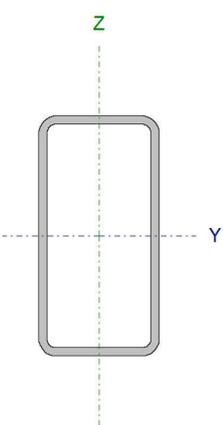
γ_{M0} : 1.05

1.3 Correas # 160x80x6 mm

De las 26 correas instaladas en el módulo 2 se muestran 3. Las tres correas que se analizan son las que están sometidas a mayores esfuerzos, coinciden con el cambio de dirección de la viga pórtico.

- # 160x80x6 2.1

Barra N160/N176

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N160	N176	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04	
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L_K	6.000	6.000	0.000	0.000		
	C_m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C_1	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N160/N176	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta < 0.1$	$\eta = 4.4$	x: 3 m $\eta = 4.0$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3 m $\eta = 6.2$	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 6.2$

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	
<p>Notación:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados $NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión M_tV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M_tV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <ul style="list-style-type: none"> ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. 														

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{148.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

A_w : Área del alma.

$$A_w : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{4.80} \text{ cm}^2$$

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H.1.2.P + 0.75 \cdot \text{Nieve1}$$

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 0.029 t

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$

$N_{t,Rd}$: 60.256 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$

η : 0.009 ✓

$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$

η : 0.044 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.532 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase: 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A: 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{12.193} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{1.38}$$

$$\phi_z : \underline{2.86}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N160, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.004} \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.084} \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{17.76} \text{ cm}^2$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

t_w: Espesor del alma.

$$d : \underline{148.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$24.67 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$$\lambda_w : \underline{24.67}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

$$\lambda_{máx} : \underline{70.00}$$

ε: Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{1.00}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N160, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : 0.073 \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : 23.393 \text{ t}$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : 0.038 \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : 0.049 \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : 0.062 \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N160, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : 0.532 \text{ t}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^+ : 0.093 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed}^+ : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : 60.256 \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : 3.186 \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : 1.937 \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 26.41 cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{pl,y} : 139.63 \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} : 84.91 \text{ cm}^3$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.02}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.03}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N160, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.073} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y v momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 180x80x6 2.4

Barra N164/N172

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N164	N172	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	6.000	6.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N164/N172	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	$\eta < 0.1$	$\eta = 2.6$	x: 3 m $\eta = 4.0$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3 m $\eta = 4.4$	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 4.4$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 6.49 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 5.62 cm

i_z : 3.25 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>148.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>6.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>17.76</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>4.80</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2395.51</u> kp/cm ²
Siendo:	
$f_{yf} = f_y$	

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta < \underline{0.001} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

N_{t,Ed} : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	N_{t,Ed} : <u>0.001</u> t
---	--

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{t,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>26.41</u> cm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2281.44</u> kp/cm ²
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>2395.51</u> kp/cm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.005 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.026 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.317 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 12.193 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$$\phi_y : \underline{1.38}$$

$$\phi_z : \underline{2.86}$$

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N164, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2395.51 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N164, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.084 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$24.67 < 70.00 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{24.67}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{1.00}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N164, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.073} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.035} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.041} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.044} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N164, para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.317} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.093} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.02}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\begin{array}{l} \bar{\lambda}_y : \underline{1.14} \\ \bar{\lambda}_z : \underline{1.96} \\ \alpha_y : \underline{0.60} \\ \alpha_z : \underline{0.60} \end{array}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N164, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.073} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 180x80x6 2.8

Barra N168/N177

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N168	N177	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		6.000	6.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N168/N177	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.5$	x: 3 m $\eta = 4.0$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3 m $\eta = 4.1$	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 4.1$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{833.12} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{279.42} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{701.04} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{911.32} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.
 t_w : Espesor del alma.
 A_w : Área del alma.
 $A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.
 k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.
 E : Módulo de elasticidad.
 f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w : 148.00 mm
 t_w : 6.00 mm
 A_w : 17.76 cm²
 $A_{fc,ef}$: 4.80 cm²
 k : 0.30
 E : 2140673 kp/cm²
 f_{yf} : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
 1.35·PP+0.8·Cubierta+0.9·VM5(0°)+1.5·Nieve1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 0.000 t

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 60.256 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 26.41 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{Cubierta} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.P.$

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{0.057 \text{ t}}$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd} : \underline{60.256 \text{ t}}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$ $N_{b,Rd} : \underline{12.193 \text{ t}}$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$ $\chi_y : \underline{0.46}$

$\chi_z : \underline{0.20}$

Siendo:

$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$ $\Phi_y : \underline{1.38}$

$\Phi_z : \underline{2.86}$

α: Coeficiente de imperfección elástica. **α_y** : 0.49

α_z : 0.49

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_y : 1.14$$

$$\bar{\lambda}_z : 1.96$$

$$N_{cr} : 16.399 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 48.894 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 16.399 \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.040 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N168, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 0.126 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 3.186 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : 1$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : 139.63 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 2281.44 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 2395.51 \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N168, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.084 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N168, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.073 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.040} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.041} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.028} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N168, para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 0.050 t
M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}⁺** : 0.126 t·m
M_{z,Ed}⁺ : 0.000 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. **N_{pl,Rd}** : 60.256 t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 3.186 t·m
M_{pl,Rd,z} : 1.937 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 26.41 cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 139.63 cm³
W_{pl,z} : 84.91 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : 1.05

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente. **C_{m,y}** : 1.00
C_{m,z} : 1.00

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **χ_y** : 0.46
χ_z : 0.20

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. **λ̄_y** : 1.14
λ̄_z : 1.96

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección. **α_y** : 0.60
α_z : 0.60

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N168, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : 0.073 \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : 23.393 \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.4 Tirantes de cubierta, barras R 20 mm

De los seis pares de tirantes dispuesto en cruz se analizarán tres, los correspondientes a medio modulo 2, y de los tres pares se analizará el tirante sometido a mayores esfuerzos.

Barra N159/N176

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N159	N176	7.417	3.14	0.79	0.79	1.57	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	0.00	0.00	0.00	0.00		
	L _K	0.000	0.000	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z		M _t V _Y
N159/N176	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	η = 8.5	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE η = 8.5
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _Y : Resistencia a flexión eje Y M _Z : Resistencia a flexión eje Z V _Z : Resistencia a corte Z V _Y : Resistencia a corte Y M _Y V _Z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _Z V _Y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _Y M _Z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _Y M _Z V _Y V _Z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _Z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _Y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \mathbf{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A: 3.14 cm²
f_y: 2701.33 kp/cm²
N_{cr}: ∞

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η: 0.085 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed}: 0.683 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd}: 8.082 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: 3.14 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.5 Tirantes laterales, barras R 20 mm

De los dos pares de tirantes laterales que componen medio modulo se analizara el tirante sometido a mayor esfuerzo.

Barra N429/N159

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N429	N159	3.292	3.14	0.79	0.79	1.57	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	L _K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
	C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _V V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _e V _Z	M _e V _Y	
N429/N159	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 5.7$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 5.7$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _Y : Resistencia a flexión eje Y M _Z : Resistencia a flexión eje Z V _Z : Resistencia a corte Z V _Y : Resistencia a corte Y M _V V _Z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _Z V _Y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _Y M _Z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _Y M _Z V _Y V _Z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _e V _Z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _e V _Y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \mathbf{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A: 3.14 cm²
f_y: 2701.33 kp/cm²
N_{cr}: ∞

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.057 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed}: 0.458 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd}: 8.082 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

A: 3.14 cm²
f_{yd}: 2572.69 kp/cm²

f_y: 2701.33 kp/cm²
γ_{M0}: 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

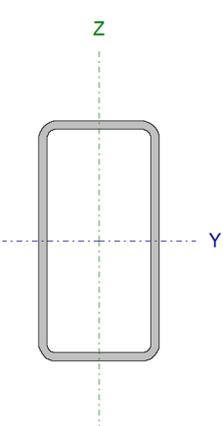
Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.6 Perfiles paramento lateral, # 160x80x6 mm

Se analizará el perfil sometido a mayores esfuerzos de los dos paramentos laterales que forman el módulo 2.

Barra N158/N429

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N158	N429	3.000	26.41	833.12	279.42	701.04	
<i>Notas:</i> (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
	L _K	3.000	3.000	0.000	0.000	0.000	
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁	-		1.000				
<i>Notación:</i> β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N158/N429	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 1.714 m η = 0.2	x: 1.714 m η = 1.2	x: 0 m η = 2.4	x: 3 m η = 16.4	x: 0 m η = 0.3	η = 1.8	η < 0.1	η < 0.1	x: 3 m η = 16.8	η < 0.1	η = 1.4	x: 0 m η = 0.2	x: 0 m η < 0.1	CUMPLE η = 16.8
<i>Notación:</i> λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: **0.98** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A : 26.41 cm²
f_y : 2395.51 kp/cm²
N_{cr} : 65.594 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

N_{cr,y} : 195.575 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

N_{cr,z} : 65.594 t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

N_{cr,T} : ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 3.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 3.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 6.49 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 5.62 cm

i_z : 3.25 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

24.67 ≤ 515.67 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

t_w: Espesor del alma.

A_w: Área del alma.

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w: 148.00 mm

t_w: 6.00 mm

A_w: 17.76 cm²

A_{fc,ef}: 4.80 cm²

k: 0.30

E: 2140673 kp/cm²

f_{yf}: 2395.51 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η: 0.002 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.714 m del nudo N158, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed}: 0.103 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd}: 60.256 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η: 0.007 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.012 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.714 m del nudo N158, para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.397 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 33.164 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.80

χ_z : 0.55

Siendo:

Φ_y : 0.75

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_z : \underline{1.17}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.57}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.98}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{65.594} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{195.575} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{65.594} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.024} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N158, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.007} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N158, para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.075} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.164}$ ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N429, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.S.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁺ : 0.273 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N429, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve1.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 0.318 t·m

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

M_{c,Rd} : 1.937 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

W_{pl,z} : 84.91 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.003}$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N158, para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.067 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.018 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.204 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 11.395 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 8.65 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

A : 26.41 cm²

d: Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.33 < **70.00** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.067 t ≤ 11.697 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta-SX.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.067 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.204 t ≤ 5.698 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.204 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 11.395 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.167 ✓

η : 0.102 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.168} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N429, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve1.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.097} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.004} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.318} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$$

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.80}$$

$$\chi_z : \underline{0.55}$$

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.57}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.98}$$

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P+0.75·Nieve1.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

0.204 t ≤ 5.681 t ✓

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.
 $V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{Ed,y}$: 0.204 t
 $V_{c,Rd,y}$: 11.362 t

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

η : **0.014** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.P.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.025 t·m

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd}$: 1.801 t·m

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 136.75 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N158, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.043 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.005 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 23.325 t

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd} : 23.393 t

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

τ_{T,Ed} : 3.83 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 136.75 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N158, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.005 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.005 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 11.362 t

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd} : 11.395 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{3.83} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{136.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

ANEXO VI: Módulo 7 DTR

6. Pilares HEB
7. Correas # 160x80x6 mm
8. Vigas pórtico IPE 300
9. Tirantes cubierta R 20 mm
10. Marco frontal

1 Módulo nº7

A continuación, se muestran las comprobaciones E.L.U. del módulo nº7 bajo la legislatura argelina DTR.

La estructura de módulo 7 al ser simétrica tanto respecto el plano yz como del plano zx se obtendrán las comprobaciones de los elementos de medio pórtico.

1.1 Pilares HEB

Se comprueba el pilar sometido a mayores esfuerzos.

- Pilar HEB 7.1

Barra N342/N343

Perfil: HE 240 B, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N342	N343	0.329	150.00	13034.67	10801.67	16877.09
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	2.00	1.40	1.00	1.00		
L _K	0.658	0.461	0.329	0.329		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t		M _t V _Z	M _t V _Y
N342/N343	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 0.329 m $\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 4.9$	x: 0 m $\eta = 1.8$	$\eta = 3.1$	x: 0 m $\eta = 0.7$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 6.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 2.8$	$\eta = 0.4$	$\eta = 0.1$	CUMPLE $\eta = 6.1$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _Y : Resistencia a flexión eje Y M _Z : Resistencia a flexión eje Z V _Z : Resistencia a corte Z V _Y : Resistencia a corte Y M _Y V _Z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _Z V _Y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _Y M _Z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _Y M _Z V _Y V _Z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _Z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _Y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.09 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 52709.515 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

N_{cr,y} : 129808.190 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

N_{cr,z} : 52709.515 t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

N_{cr,T} : 147572.450 t

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 13034.67 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 10801.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 16877.09 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 487491.56 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 0.461 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 0.658 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.329 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.61 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 9.32 cm

i_z : 8.49 cm

y₀ : 0.00 mm

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

z_0 : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

20.60 ≤ 229.53 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 206.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 10.00 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 41.20 cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$: 44.20 cm²

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E : Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2701.33 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.003 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N343, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 0.975 t

La resistencia de cálculo a tracción **$N_{t,Rd}$** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 385.904 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 150.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2701.33 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N342, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 1.720 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 385.904 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase: 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A: 150.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}$: 0.09

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A: 150.00 cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr} : \underline{52709.515} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{129808.190} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{52709.515} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{147572.450} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.049} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N342, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.515} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N342, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{1.446} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{30.817} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1197.84} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbeltos $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.04}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{22642.680} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{17140.808} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{14794.718} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{1086.22} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{10801.67} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{16877.09} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{0.329} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{0.329} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{8.35} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{8.35} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.018} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N342, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{0.502} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N342, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.418} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{28.032} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} : \underline{1089.60} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.031}$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM4(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{3.089} \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{68.00} \text{ cm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

20.60 < 65.92 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$\lambda_w : \underline{20.60}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$\varepsilon : \underline{0.94}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$f_{ref} : \underline{2395.51}$ kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2701.33}$ kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.007}$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N342, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.902}$ t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{126.848}$ t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{85.40}$ cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2572.69}$ kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2701.33}$ kp/cm²

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

15.29 < 65.92 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$\lambda_w : \underline{15.29}$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$\varepsilon : \underline{0.94}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$f_{ref} : \underline{2395.51}$ kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2701.33}$ kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

3.089 t ≤ 50.502 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM4(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{3.089}$ t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : \underline{101.003}$ t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.902 t ≤ 63.424 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : 0.902 t

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V_{c,Rd}** : 126.848 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.061 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : 0.057 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : 0.042 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N342, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 0.284 t

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}⁺** : 1.515 t·m

M_{z,Ed}⁺ : 0.322 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. **N_{pl,Rd}** : 385.904 t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 30.817 t·m

M_{pl,Rd,z} : 28.032 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 150.00 cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 1197.84 cm³

W_{pl,z} : 1089.60 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : $\frac{2701.33}{1.05}$ kp/cm²
 γ_{M1} : $\frac{1.05}{1.05}$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

k_y : $\frac{1.00}{1.00}$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

k_z : $\frac{1.00}{1.00}$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y}$: $\frac{1.00}{1.00}$

$C_{m,z}$: $\frac{1.00}{1.00}$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : $\frac{1.00}{1.00}$

χ_z : $\frac{1.00}{1.00}$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$: $\frac{0.06}{0.06}$

$\bar{\lambda}_z$: $\frac{0.09}{0.09}$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : $\frac{0.60}{0.60}$

α_z : $\frac{0.60}{0.60}$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM4(180°)+0.75·Nieve1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

3.089 t ≤ 50.441 t ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed,z}$: $\frac{3.089}{3.089}$ t

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd,z}$: $\frac{100.882}{100.882}$ t

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

η : **0.028** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.457} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd} : \underline{16.562} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.004} \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.400} \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.034} \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : \underline{100.798} \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{3.03} \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{1115.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Y v momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.086 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.034 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 126.696 t

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd} : 126.848 t

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

τ_{T,Ed} : 1.78 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1895.50 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

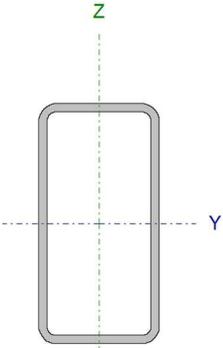
γ_{M0} : 1.05

1.2 Correas # 160x80x6 mm

De las 26 correas instaladas en el módulo 7 se analizarán 4. Las cuatro correas que se analizan son las que están sometidas a mayores esfuerzos, coinciden con el cambio de dirección de la viga pórtico.

- # 160x80x6 7.4

Barra N341/N344

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N341	N344	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
	L _K	6.000	6.000	0.000	0.000	0.000	
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁	-		1.000				
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N341/N344	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 9.8$	x: 3 m $\eta = 4.0$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 3 m $\eta = 12.2$	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 12.2$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (6) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: **1.96** ✓

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

Clase : 1

A : 26.41 cm²

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

N_{cr,y} : 48.894 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

N_{cr,z} : 16.399 t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

N_{cr,T} : ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 6.49 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 5.62 cm

i_z : 3.25 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

24.67 ≤ 515.67 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 17.76 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 4.80 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2395.51 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.020 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.098 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

N_{c,Ed} : 1.191 t

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{c,Rd} : 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

N_{b,Rd} : 12.193 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.46

χ_z : 0.20

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

Φ_y : 1.38

Φ_z : 2.86

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.49

α_z : 0.49

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ̄_y : 1.14

λ̄_z : 1.96

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 16.399 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.040 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N341, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.126 t·m

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.000 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 3.186 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 139.63 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N341, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.084 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N341, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.073} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : \underline{23.393} \text{ t}$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.059}$ ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.083}$ ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.122}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N341, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed} : \underline{1.191} \text{ t}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd} : \underline{60.256} \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{84.91} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.03}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.08}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.46}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N341, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.073} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 160x80x6 7.8

Barra N346/N345

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N346	N345	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
β	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	6.000	6.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N346/N345	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 7.7	x: 3 m η = 4.0	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 0.4	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0.375 m η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	x: 3 m η = 10.2	x: 0.375 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE η = 10.2
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (6) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.														

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 1.96 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 16.399 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 48.894 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 16.399 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 833.12 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 279.42 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 701.04 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 911.32 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 6.49 cm

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

y_o , z_o : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \underline{148.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{17.76} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{4.80} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yf} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.016} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.077} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.942 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 12.193 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.46

χ_z : 0.20

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

φ_y : 1.38

φ_z : 2.86

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.49

α_z : 0.49

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N346, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N346, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.084 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

V_{c,Rd} : 23.393 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < **70.00** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

λ_{máx} : 70.00

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\epsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N346, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.073 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.055} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.074} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.102} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N346, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : 0.942$ t
 $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^+ : 0.126$ t·m
 $M_{z,Ed}^+ : 0.000$ t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : 60.256$ t
 $M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : 3.186$ t·m
 $M_{pl,Rd,z} : 1.937$ t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 26.41 cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{pl,y} : 139.63$ cm³
 $W_{pl,z} : 84.91$ cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : 2281.44$ kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : 2395.51$ kp/cm²

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M1} : 1.05$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.03}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.06}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y} : 1.00$
 $C_{m,z} : 1.00$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\chi_y : 0.46$
 $\chi_z : 0.20$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : 1.14$
 $\bar{\lambda}_z : 1.96$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección. $\alpha_y : 0.60$
 $\alpha_z : 0.60$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N346, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.073} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- # 160x80x6 7.12

Barra N381/N382

Perfil: #160x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N381	N382	6.000	26.41	833.12	279.42	701.04
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		6.000	6.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N381/N382	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.375 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta < 0.1$	$\eta = 4.0$	x: 3 m $\eta = 4.0$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3 m $\eta = 6.4$	x: 0.375 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 6.4$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{1.96} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{26.41} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{833.12} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{279.42} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{701.04} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{911.32} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{6.000} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.49} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{5.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.25} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.67 \leq 515.67 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.
t_w: Espesor del alma.
A_w: Área del alma.
A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
E: Módulo de elasticidad.
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w: 148.00 mm
t_w: 6.00 mm
A_w: 17.76 cm²
A_{fc,ef}: 4.80 cm²
k: 0.30
E: 2140673 kp/cm²
f_{yf}: 2395.51 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed}: 0.027 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd}: 60.256 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.040} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.490 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$

$N_{c,Rd}$: 60.256 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$

$N_{b,Rd}$: 12.193 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 26.41 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.46

χ_z : 0.20

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

φ_y : 1.38

φ_z : 2.86

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.49

α_z : 0.49

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.14}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.96}$$

$$N_{cr} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{48.894} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{16.399} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N381, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.186} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{139.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N381, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.084 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 17.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 148.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

24.67 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 24.67

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N381, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.073 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 23.393 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.048} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.058} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.064} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N381, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : 0.490$ t
 $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^+ : 0.126$ t·m
 $M_{z,Ed}^+ : 0.000$ t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : 60.256$ t

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : 3.186$ t·m
 $M_{pl,Rd,z} : 1.937$ t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 26.41 cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{pl,y} : 139.63$ cm³
 $W_{pl,z} : 84.91$ cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : 2281.44$ kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : 2395.51$ kp/cm²

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M1} : 1.05$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.03}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y} : 1.00$
 $C_{m,z} : 1.00$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\chi_y : 0.46$
 $\chi_z : 0.20$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : 1.14$
 $\bar{\lambda}_z : 1.96$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección. $\alpha_y : 0.60$
 $\alpha_z : 0.60$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N381, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 11.697 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.073} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{23.393} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.3 Vigas pórtico IPE 300

De las 12 vigas que componen los dos pórticos que forman el módulo 7, se analizarán tres correspondiente con el medio pórtico situado al exterior de la estructura metálica. Estas tres vigas al estar conectadas con el marco frontal son las que más carga deben de soportar.

De cada viga las comprobaciones E.L.U. se realizan para los segmentos entre correas que forman cada viga sometidos a mayores esfuerzos.

- IPE 300 - 7.1.

Barra N343/N366

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 15.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N343	N366	1.191	137.80	13844.00	6135.00	13192.55
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.92	1.00	0.92	0.92		
L _K	1.100	1.191	1.100	1.100		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z		M _t V _Y
N343/N366	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 1.191 m $\eta = 0.6$	x: 0 m $\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 2.6$	x: 0 m $\eta = 2.2$	x: 0 m $\eta = 1.0$	x: 0 m $\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 3.9$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.6$	x: 0 m $\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 3.9$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _Y : Resistencia a flexión eje Y M _Z : Resistencia a flexión eje Z V _Z : Resistencia a corte Z V _Y : Resistencia a corte Y M _Y V _Z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _Z V _Y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _Y M _Z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _Y M _Z V _Y V _Z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _Z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _Y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.19} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{137.80} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{N_{cr}} : \underline{10712.214} \text{ t}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\mathbf{N_{cr,y}} : \underline{20619.973} \text{ t}$$

$$\mathbf{N_{cr,y}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$\mathbf{N_{cr,z}} : \underline{10712.214} \text{ t}$$

$$\mathbf{N_{cr,z}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\mathbf{N_{cr,T}} : \underline{76698.201} \text{ t}$$

$$\mathbf{N_{cr,T}} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$\mathbf{I_y} : \underline{13844.00} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$\mathbf{I_z} : \underline{6135.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$\mathbf{I_t} : \underline{13192.55} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$\mathbf{I_w} : \underline{130116.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$\mathbf{E} : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$\mathbf{G} : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$\mathbf{L_{ky}} : \underline{1.191} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$\mathbf{L_{kz}} : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$\mathbf{L_{kt}} : \underline{1.100} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$\mathbf{i_0} : \underline{12.04} \text{ cm}$$

$$\mathbf{i_0} = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$\mathbf{i_y} : \underline{10.02} \text{ cm}$$

$$\mathbf{i_z} : \underline{6.67} \text{ cm}$$

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z,

$$\mathbf{y_0} : \underline{0.00} \text{ mm}$$

respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$\mathbf{z_0} : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad \mathbf{14.02 \leq 193.49 \checkmark}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>150.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>10.70</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>32.10</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>45.00</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2803.26</u> kp/cm ²
Siendo:	
$f_{yf} = f_y$	

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \mathbf{0.006 \checkmark}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N366, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

N_{t,Ed} : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	N_{t,Ed} : <u>2.225</u> t
---	--

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{t,Rd} : \mathbf{367.895 \text{ t}}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>137.80</u> cm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2669.77</u> kp/cm ²
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>2803.26</u> kp/cm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.009 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N343, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM4(180°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 3.210 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ $N_{c,Rd}$: 367.895 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida. $\bar{\lambda}$: 0.19

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 137.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 10712.214 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 20619.973 t

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 10712.214 t

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: 76698.201 t

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.026 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N343, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.614 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N343, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.793 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 30.417 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 1139.33 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbeltos $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.10

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr} : 3489.799 t·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

M_{LTv}: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{3415.954} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTW}: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTW} : \underline{714.109} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

W_{el,y}: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{922.93} \text{ cm}^3$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{6135.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{13192.55} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c⁺: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

i_{f,z}⁺: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{6.66} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{6.66} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.022} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N343, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.509} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N343, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.438} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{23.037} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{862.88} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N343, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.651} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{162.309} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{105.30} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$18.57 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.57}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N343, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.265} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{34.02} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon \quad \mathbf{16.82 < 64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{16.82}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \mathbf{1.651 \text{ t} \leq 81.154 \text{ t}} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.651} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{162.309} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \mathbf{0.265 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t}} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.265} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.039} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.032} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N343, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed} : \underline{1.384} \text{ t}$
 $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed} : \underline{0.793} \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{z,Ed} : \underline{0.204} \text{ t}\cdot\text{m}$
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción. $N_{pl,Rd} : \underline{367.895} \text{ t}$
 $M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{30.417} \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{23.037} \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{ef,Ed} : \underline{-0.702} \text{ t}\cdot\text{m}$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida. $\sigma_{com,Ed} : \underline{61.59} \text{ kp/cm}^2$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y. $W_{y,com} : \underline{1139.33} \text{ cm}^3$

A : Área de la sección bruta. $A : \underline{137.80} \text{ cm}^2$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo. $M_{b,Rd,y} : \underline{30.417} \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y , además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM1(180^\circ) + 0.75 \cdot Nieve1$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.651 \text{ t} \leq 81.080 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.651} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{162.160} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM4(180^\circ)$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.090} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{15.746} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{1021.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N343, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{V_{Ed}} : \underline{0.238} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{T,Ed}} : \underline{0.014} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} : \underline{162.203} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$\mathbf{V_{pl,Rd}} : \underline{162.309} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\mathbf{\tau_{T,Ed}} : \underline{1.01} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W_T} : \underline{1432.04} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{V_{Ed}} : \underline{0.015} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{T,Ed}} : \underline{0.014} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} : \underline{52.389} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$\mathbf{V_{pl,Rd}} : \underline{52.437} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\mathbf{\tau_{T,Ed}} : \underline{1.41} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1021.52 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

- IPE 300 - 7.2.

Barra N344/N369

Perfil: IPE 300, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N344	N369	0.916	109.80	12014.67	4192.67	9792.49
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.20	1.00	1.20	1.20		
L_K	1.100	0.916	1.100	1.100		
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C_1	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N344/N369	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 0.916 m $\eta = 0.5$	x: 0 m $\eta = 0.7$	x: 0 m $\eta = 2.4$	x: 0.916 m $\eta = 0.5$	x: 0 m $\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 2.8$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.916 m $\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 2.8$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t : Resistencia a tracción N_c : Resistencia a compresión M_y : Resistencia a flexión eje Y M_z : Resistencia a flexión eje Z V_z : Resistencia a corte Z V_y : Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t : Resistencia a torsión $M_y V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_z V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x : Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.21 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 7320.740 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 30253.165 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 7320.740 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 56282.099 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 12014.67 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 4192.67 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 9792.49 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 127219.56 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 0.916 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.100 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 1.100 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.15 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 10.46 cm

i_z : 6.18 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

27.86 ≤ 400.96 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

t_w: Espesor del alma.

A_w: Área del alma.

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w : 278.60 mm

t_w : 10.00 mm

A_w : 55.72 cm²

A_{fc,ef} : 18.19 cm²

k : 0.30

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.005 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N369, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 1.456 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 293.141 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 109.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2803.26 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.007 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.007 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 2.076 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 293.141 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 292.386 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 109.80 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$$\chi_T : \underline{1.00}$$

$$\phi_y : \underline{0.48}$$

$$\phi_z : \underline{0.52}$$

$$\phi_T : \underline{0.47}$$

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.10}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.07}$$

$$N_{cr} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{30253.165} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{7320.740} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{56282.099} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.024} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.462} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.586} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \quad M_{c,Rd} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{914.33} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.10}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{2489.133} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTv} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTv} : \underline{2432.943} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{r,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{525.901} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{800.98} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{4192.67} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{9792.49} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}^+$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{6.13} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{6.13} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N369, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM5(0^\circ)$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.073} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N369, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM4(180^\circ) + 0.75 \cdot Nieve1$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.063} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{16.029} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{600.38} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.009 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.093 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 119.150 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 77.30 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

27.86 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 27.86

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.073 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 52.437 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 34.02 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

15.89 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 15.89

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.093 \text{ t} \leq 59.575 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.093} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{119.150} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.073 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.073} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.028} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.026} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N344, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

A : Área de la sección bruta.

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.297} \text{ t}$$

$$M_{y,Ed} : \underline{0.586} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.042} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{293.141} \text{ t}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{16.029} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} : \underline{-0.566} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{61.88} \text{ kp/cm}^2$$

$$W_{y,com} : \underline{914.33} \text{ cm}^3$$

$$A : \underline{109.80} \text{ cm}^2$$

$$M_{b,Rd,y} : \underline{24.410} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.093 \text{ t} \leq 59.571 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.093} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{119.142} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.126} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$M_{T,Rd} : \underline{14.270} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{925.76} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.001} \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.150} \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : \underline{119.141} \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : \underline{119.150} \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{0.11} \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{925.76} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta < \underline{0.001}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N369, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.014 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.007 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 52.413 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 52.437 t

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 0.70 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 990.56 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

- IPE 300 - 7.3.

Barra N345/N376

Perfil: IPE 300 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N345	N376	0.864	53.80	8356.00	604.00	20.10
Notas: Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.27	1.00	1.27	1.27		
L _K	1.100	0.864	1.100	1.100		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)									
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y
N345/N376	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 0.864 m η = 0.9	x: 0 m η = 1.1	x: 0 m η = 1.8	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 2.2	x: 0 m η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados N _t M _y : Resistencia a flexión y axil combinados N _t M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _y : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)										

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.38 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 53.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1054.634 t

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

$$N_{cr,y} : \underline{23649.446} \quad t$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

$$N_{cr,z} : \underline{1054.634} \quad t$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

$$N_{cr,T} : \underline{1420.672} \quad t$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8356.00} \quad \text{cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{604.00} \quad \text{cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{20.10} \quad \text{cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{126000.00} \quad \text{cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \quad \text{kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \quad \text{kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{0.864} \quad m$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.100} \quad m$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{1.100} \quad m$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.91} \quad \text{cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{12.46} \quad \text{cm}$$

$$i_z : \underline{3.35} \quad \text{cm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \quad \text{mm}$$

Y₀ , Z₀:
Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 39.24 \leq 254.33 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>278.60</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>7.10</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>19.78</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>16.05</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2803.26</u> kp/cm ²
Siendo:	
$f_{yf} = f_y$	

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N376, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **N_{t,Ed}** : 1.361 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{143.634} \quad t$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{53.80} \quad \text{cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \quad \text{kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \quad \text{kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N345, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.499} \quad t$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{143.634} \quad t$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{53.80} \quad \text{cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \quad \text{kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{\underline{2803.26}} \quad \text{kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{\underline{1.05}}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{\underline{134.247}} \quad \text{t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{\underline{53.80}} \quad \text{cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{\underline{2669.77}} \quad \text{kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{\underline{2803.26}} \quad \text{kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{\underline{1.05}}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{\underline{1.00}}$$

$$\chi_z : \underline{\underline{0.93}}$$

$$\chi_T : \underline{\underline{0.95}}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{\underline{0.49}}$$

$$\phi_z : \underline{\underline{0.60}}$$

$$\phi_T : \underline{\underline{0.57}}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{\underline{0.21}}$$

$$\alpha_z : \underline{\underline{0.34}}$$

$$\alpha_T : \underline{\underline{0.34}}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{\underline{0.08}}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{\underline{0.38}}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{\underline{0.33}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{\underline{1054.634}} \quad \text{t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{\underline{23649.446}} \quad \text{t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{\underline{1054.634}} \quad \text{t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\underline{1420.672}} \quad \text{t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.018 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N345, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM6(90^\circ 270^\circ)$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.259 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N345, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM1(180^\circ) + 0.75 \cdot Nieve1$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.294 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 16.766 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 628.00 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.33

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr} : 157.045 t·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTV} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV} : \underline{41.837} \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{151.370} \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{557.07} \quad \text{cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{604.00} \quad \text{cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{20.10} \quad \text{cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \quad \text{kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \quad \text{kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{1.100} \quad \text{m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.100} \quad \text{m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}^+$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{3.94} \quad \text{cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{3.94} \quad \text{cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.029}$$



Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N345, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.096} \quad t \cdot m$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N345, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot V(270^\circ)H.1.2.S + 0.75 \cdot Nieve1$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.072} \quad t \cdot m$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{3.337} \quad t \cdot m$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$Clase : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{125.00} \quad cm^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \quad kp/cm^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \quad kp/cm^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N345, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM1(180^\circ) + 0.75 \cdot Nieve1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.867} \quad t$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{39.567} \quad t$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{25.67} \quad cm^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

t_w: Espesor del alma.

$$h : \underline{300.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$35.01 < 64.71$$



Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$$\lambda_w : \underline{35.01}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{máx} = 70 \cdot \varepsilon$$

$$\lambda_{máx} : \underline{64.71}$$

ε: Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002}$$



El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N345, para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.110} \quad t$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \quad t$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{34.02} \quad \text{cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{53.80} \quad \text{cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{278.60} \quad \text{mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \quad \text{mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \quad \text{kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \quad \text{kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.867 \text{ t} \leq 19.784 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.867} \quad t$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{39.567} \quad t$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 0.110 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.110} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.048} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.033} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N345, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed} : \underline{1.254} \text{ t}$

$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^+ : \underline{0.181} \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{z,Ed}^+ : \underline{0.096} \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : $\underline{1}$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción. $N_{pl,Rd} : \underline{143.634} \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{16.766} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : \underline{3.337} \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

M_{ef,Ed} : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.	M_{ef,Ed} :	<u>0.064</u>	t·m
$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$			
Siendo:			
σ_{com,Ed} : Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.	σ_{com,Ed} :	<u>10.20</u>	kp/cm ²
$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$			
W_{y,com} : Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.	W_{y,com} :	<u>628.00</u>	cm ³
A : Área de la sección bruta.	A :	<u>53.80</u>	cm ²
M_{b,Rd,y} : Momento flector resistente de cálculo.	M_{b,Rd,y} :	<u>16.250</u>	t·m

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad \mathbf{0.867 \text{ t}} \leq \mathbf{19.782 \text{ t}} \quad \checkmark$$

Donde:

V_{Ed,z} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	V_{Ed,z} :	<u>0.867</u>	t
V_{c,Rd,z} : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	V_{c,Rd,z} :	<u>39.563</u>	t

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \mathbf{0.008} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(180°)H.1.1.P.

M_{T,Ed} : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.	M_{T,Ed} :	<u>0.002</u>	t·m
---	---------------------------	--------------	-----

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : \underline{0.290} \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión. $W_T : \underline{18.79} \quad \text{cm}^3$
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2669.77} \quad \text{kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2803.26} \quad \text{kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N345, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.084} \quad \text{t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed} : \underline{0.000} \quad \text{t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : \underline{39.563} \quad \text{t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd} : \underline{39.567} \quad \text{t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed} : \underline{0.38} \quad \text{kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión. $W_T : \underline{18.79} \quad \text{cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2669.77} \quad \text{kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y	:	<u>2803.26</u>	kp/cm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0}	:	<u>1.05</u>	

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \qquad \eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N345, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	V_{Ed}	:	<u>0.018</u>	t
---	----------	---	--------------	---

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.	$M_{T,Ed}$:	<u>0.000</u>	t·m
--	------------	---	--------------	-----

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \qquad V_{pl,T,Rd} : \underline{52.432} \quad t$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$V_{pl,Rd}$:	<u>52.437</u>	t
--	-------------	---	---------------	---

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.	$\tau_{T,Ed}$:	<u>0.38</u>	kp/cm ²
---	---------------	---	-------------	--------------------

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.	W_T	:	<u>18.79</u>	cm ³
--	-------	---	--------------	-----------------

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd}	:	<u>2669.77</u>	kp/cm ²
--	----------	---	----------------	--------------------

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y	:	<u>2803.26</u>	kp/cm ²
---	-------	---	----------------	--------------------

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0}	:	<u>1.05</u>	
--	---------------	---	-------------	--

1.4 Tirantes de cubierta, barras R 20 mm

De los seis pares de tirantes dispuesto en cruz se analizarán tres, los correspondientes a medio modulo 2. De estos tres pares de tirantes se analiza el sometido a mayores esfuerzos.

Barra N341/N345

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N341	N345	7.272	3.14	0.79	0.79	1.57
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.00	0.00	0.00	0.00	
L _K		0.000	0.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N341/N345	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	η = 19.1	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE η = 19.1
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \mathbf{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$A : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$N_{cr} : \underline{\infty}$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.191} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve1.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{1.546} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{8.082} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$A : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.5 Marco frontal

Se analizará los perfiles correspondientes a medio marco frontal sometidos a mayores esfuerzos.

Barra N439/N447

Perfil: # 80x80x6 Material: Acero (S235)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N439	N447	1.477	16.81	148.00	148.00	251.29
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		1.477	1.477	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t		M _t V _Z	M _t V _Y
N439/N447	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 1.477 m η = 2.8	x: 0 m η = 3.7	x: 0 m η = 0.5	x: 0 m η = 42.5	η < 0.1	x: 0 m η = 6.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 45.0	η < 0.1	η = 0.4	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	CUMPLE η = 45.0
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _Y : Resistencia a flexión eje Y M _Z : Resistencia a flexión eje Z V _Z : Resistencia a corte Z V _Y : Resistencia a corte Y M _Y V _Z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _Z V _Y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _Y M _Z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _Y M _Z V _Y V _Z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _Z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _Y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.53} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A : 16.81 cm²
f_y : 2395.51 kp/cm²
N_{cr} : 143.331 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

N_{cr,y} : 143.331 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

N_{cr,z} : 143.331 t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

N_{cr,T} : ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 148.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 148.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 251.29 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 1.14 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 1.477 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 1.477 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 4.20 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 2.97 cm

i_z : 2.97 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

11.33 ≤ 349.54 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 68.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 8.16 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 4.80 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2395.51 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.028 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N447, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 1.062 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 38.354 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 16.81 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.030 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.037} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N439, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve1.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.167} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{38.354} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$Clase : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{16.81} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{31.681} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{16.81} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.83}$$

$$\chi_z : \underline{0.83}$$

Siendo:

$$\Phi_y : \underline{0.72}$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_z : \underline{0.72}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.53}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.53}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{143.331} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{143.331} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{143.331} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N439, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N439, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.127} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{49.39} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.425 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N439, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.479 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N439, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(270°)H.1.2.S+0.75·Nieve1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.451 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 1.127 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 49.39 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot Cubierta + 1.5 \cdot VM5(0^\circ)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.005} \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd} : \underline{10.748} \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. $A_v : \underline{8.16} \text{ cm}^2$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma. $d : \underline{68.00} \text{ mm}$

t_w : Espesor del alma. $t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

11.33 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma. $\lambda_w : \underline{11.33}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{70.00}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción. $\varepsilon : \underline{1.00}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia. $f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.065 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N439, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CUBIERTA + 1.5 \cdot V(0^\circ)H.1.1.P.$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.739 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 11.395 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 8.65 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 16.81 cm²

d : Altura del alma.

d : 68.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 6.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2281.44 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.33 < 70.00 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 70.00

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 1.00

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2395.51 kp/cm²

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.005 t ≤ 5.374 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM5(0°).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.005 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 10.748 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.739 t ≤ 5.698 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.739 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 11.395 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.450 ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.425 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N439, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.926} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.479} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{38.354} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.127} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.127} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{0.00} \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A} < 0 \rightarrow \sigma_{com,Ed} = 0$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{49.39} \text{ cm}^3$$

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{16.81} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{1.127} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.739 \text{ t} \leq 5.695 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.739} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{11.390} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M}_{T,Ed} : \underline{0.003} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$\mathbf{M}_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{M}_{T,Rd} : \underline{0.866} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W}_T : \underline{65.71} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f}_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f}_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma}_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N439, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{V}_{Ed} : \underline{0.000} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M}_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$\mathbf{V}_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$\mathbf{V}_{pl,T,Rd} : \underline{10.744} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$\mathbf{V}_{pl,Rd} : \underline{10.748} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\mathbf{\tau}_{T,Ed} : \underline{0.58} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W}_T : \underline{65.71} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f}_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N439, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.000} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{11.390} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{11.395} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.58} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{65.71} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2281.44} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

ANEXO VII: Tirante de refuerzo

1. Comprobación ELU del tirante de refuerzo

1 Comprobación ELU del tirante de refuerzo

Comprobación ELU del tirante sometido a mayor tensión de entre todos los tirantes que sujetan la estructura de refuerzo.

Perfil: R 20 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N564	N208	2.339	3.14	0.79	0.79	1.57
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.00	0.00	0.00	0.00	
L _K		0.000	0.000	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N564/N208	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 2.339 m η = 24.3	x: 0 m η = 24.3	x: 1.169 m η = 2.5	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η < 0.1	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.195 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 1.169 m η = 26.7	x: 0.195 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE η = 26.7
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < 0.01 \quad \checkmark$$

Donde:

Clase : 1

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo mínimo, teniendo en cuenta que las longitudes de pandeo son nulas.

$$A : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$N_{cr} : \underline{\infty}$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.243} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N208, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{1.961} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{8.082} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.243} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N564, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.965} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{8.082} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo son nulas.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.025} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.169 m del nudo N564, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1.33} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2701.33 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta < \underline{0.001}$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N564, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.001 t

Resistencia a cortante de la sección:

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 4.666 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 3.14 cm²

$$A_v = A$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 3.14 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.001 \text{ t} \leq 2.333 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.195 m del nudo N564, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.001} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{4.666} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.267} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.169 m del nudo N564, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S+0.75·Nieve.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.962} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{8.082} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{0.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

No procede, dado que tanto las longitudes de pandeo como las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.195 m del nudo N564, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·Cubierta.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.001 \text{ t} \leq 2.333 \text{ t}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.001} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{4.666} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

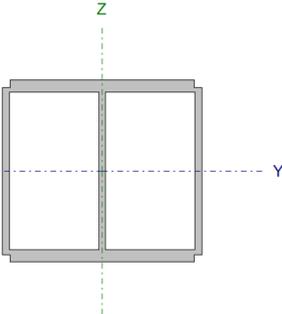
Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

ANEXO VIII: Pilar pórtico 1

1. Comprobación ELU pilar HEB pórtico 1

1 Comprobación ELU pilar HEB pórtico 1

Perfil: HE 240 B, Con platabandas laterales (Cordón continuo y Espesor de platabanda: 10.0 mm) Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N204	N460	1.000	150.00	13034.67	10801.67	16877.09	
<i>Notas:</i> (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L _K	1.000	1.000	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000				
<i>Notación:</i> β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N204/N460	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 1 m η = 3.5	x: 0 m η = 6.0	x: 0 m η = 33.1	x: 0 m η = 4.2	η = 8.8	x: 0 m η = 0.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 36.8	η < 0.1	η = 10.0	x: 0.75 m η = 0.9	x: 1 m η = 0.1	CUMPLE η = 36.8
<i>Notación:</i> λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.13} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{150.00} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{22821.322} \text{ t}$$

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

$$N_{cr,y} : \underline{27539.114 \text{ t}}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

$$N_{cr,z} : \underline{22821.322 \text{ t}}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{13034.67 \text{ cm}^4}$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{10801.67 \text{ cm}^4}$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{16877.09 \text{ cm}^4}$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{487491.56 \text{ cm}^6}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673 \text{ kp/cm}^2}$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688 \text{ kp/cm}^2}$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{1.000 \text{ m}}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{1.000 \text{ m}}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000 \text{ m}}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{12.61 \text{ cm}}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{9.32 \text{ cm}}$$

$$i_z : \underline{8.49 \text{ cm}}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z,

$$y_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

respectivamente, relativas al

centro de gravedad de la sección.

$$z_0 : \underline{0.00 \text{ mm}}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$20.60 \leq 229.53 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.
t_w: Espesor del alma.
A_w: Área del alma.
A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
E: Módulo de elasticidad.
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w: 206.00 mm
t_w: 10.00 mm
A_w: 41.20 cm²
A_{fc,ef}: 44.20 cm²
k: 0.30
E: 2140673 kp/cm²
f_{yf}: 2701.33 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.035 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N460, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM6(90°270°).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed}: 13.377 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd}: 385.904 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A: 150.00 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.060 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM3(90°270°)+0.75·Nieve.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 23.209 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 385.904 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}$: 0.13

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 150.00 cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 22821.322 t

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 27539.114 t

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 22821.322 t

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.331 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM5(0°)+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{9.883} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N204, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·VM4(180°).

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{10.204} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{30.817} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : \underline{1197.84} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)
No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.042} \checkmark$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{1.187} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N204, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·Cubierta+1.5·V(90°)H.1.2.S.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{0.838} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{28.032} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{1089.60} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.088} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{8.884} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{68.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$20.60 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{20.60}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.194} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{126.848} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{85.40} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$15.29 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{15.29}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$8.884 \text{ t} \leq 50.502 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{8.884} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{101.003} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.194 \text{ t} \leq 63.424 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P+0.75·Nieve.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.194} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 126.848 t

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.368} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.359} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.245} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM1(180°)+0.75·Nieve.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{14.795}$ t
 $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^+ : \underline{9.440}$ t·m
 $M_{z,Ed}^+ : \underline{0.647}$ t·m
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : \underline{385.904}$ t
 $M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{30.817}$ t·m
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{28.032}$ t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 150.00 cm²
 $W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{pl,y} : \underline{1197.84}$ cm³
 $W_{pl,z} : \underline{1089.60}$ cm³
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{2572.69}$ kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{2701.33}$ kp/cm²
 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.12}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.13}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·Cubierta+1.5·VM2(0°)+0.75·Nieve.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$8.884 \text{ t} \leq 50.136 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{8.884 \text{ t}}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{100.273 \text{ t}}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.100} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·Cubierta+1.5·V(0°)H.1.1.P.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{1.652 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{16.562 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.	$W_T : 1115.00 \text{ cm}^3$
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{yd} : 2572.69 \text{ kp/cm}^2$
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : 2701.33 \text{ kp/cm}^2$
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M0} : 1.05$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : 0.009 \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.750 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : 0.887 \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed} : 0.202 \text{ t}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : 99.771 \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$V_{pl,Rd} : 101.003 \text{ t}$
$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.	$\tau_{T,Ed} : 18.12 \text{ kp/cm}^2$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.	$W_T : 1115.00 \text{ cm}^3$
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{yd} : 2572.69 \text{ kp/cm}^2$
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : 2701.33 \text{ kp/cm}^2$
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M0} : 1.05$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.001}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N460, para la combinación de acciones PP+Cubierta+SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.144 t

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed} : 0.200 t·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 125.946 t

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd} : 126.848 t

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

τ_{T,Ed} : 10.57 kp/cm²

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 1895.50 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05



Volumen III Planos

***Proyecto de cálculo y dimensionado de estructura
para cubierta retráctil.***

***Análisis de caso comparativo utilizando las
legislaciones europea y argelina***

UNIVERSITAT JAUME I

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS
GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

TRABAJO FIN DE GRADO

AUTOR/A

Javier Martí Miralles

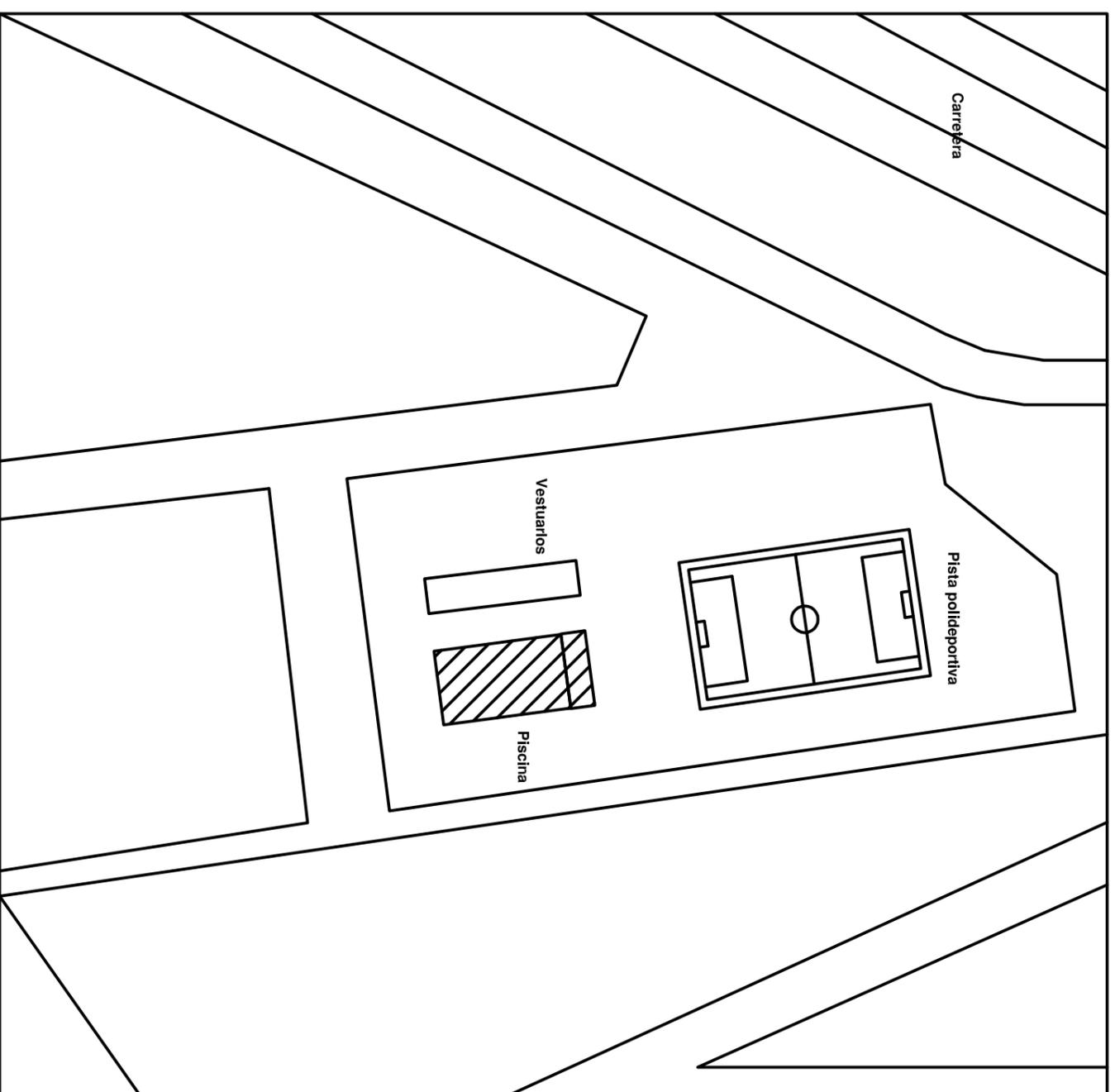
DIRECTOR/A

Alejandro Doménech Monforte

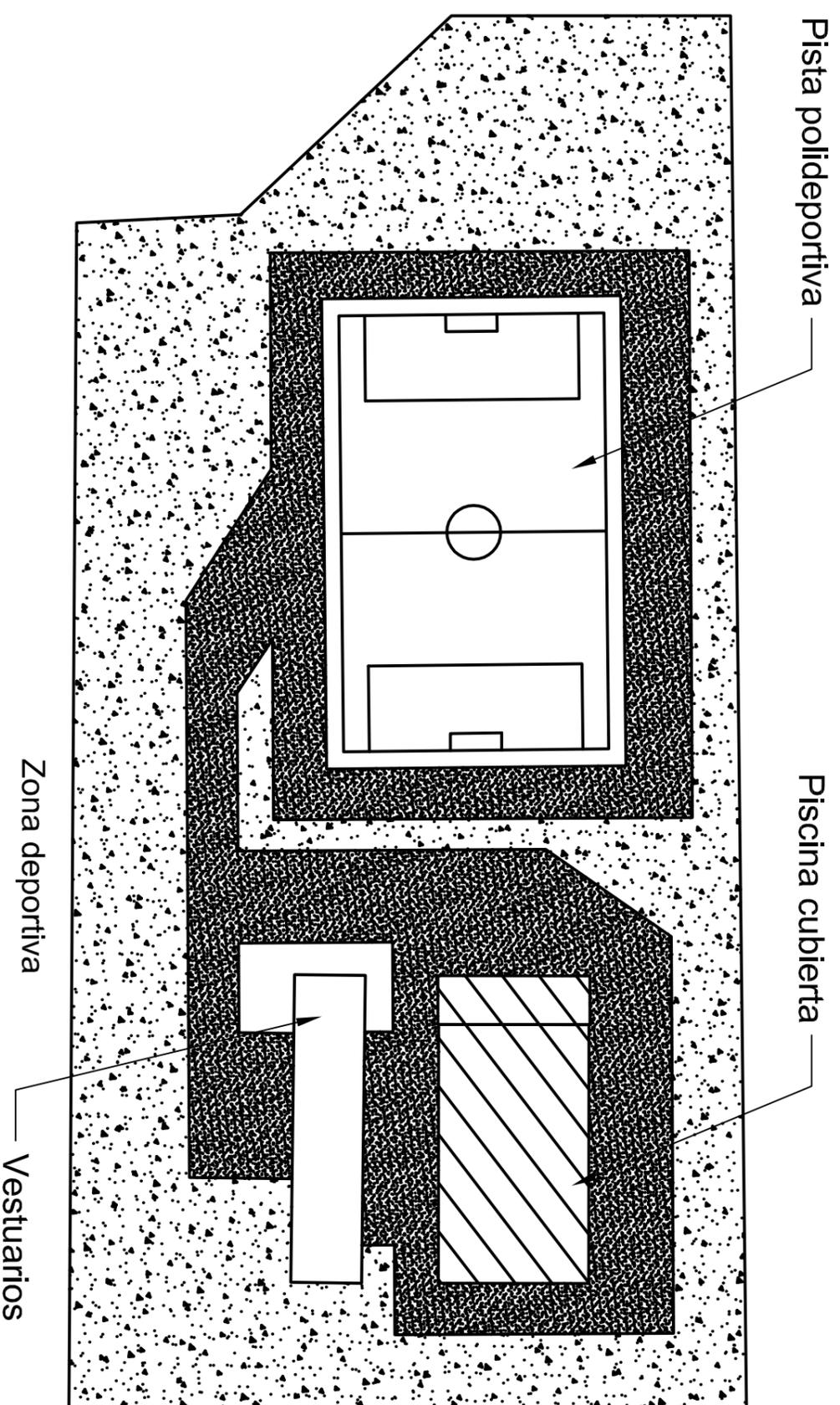
Castellón, Noviembre de 2016



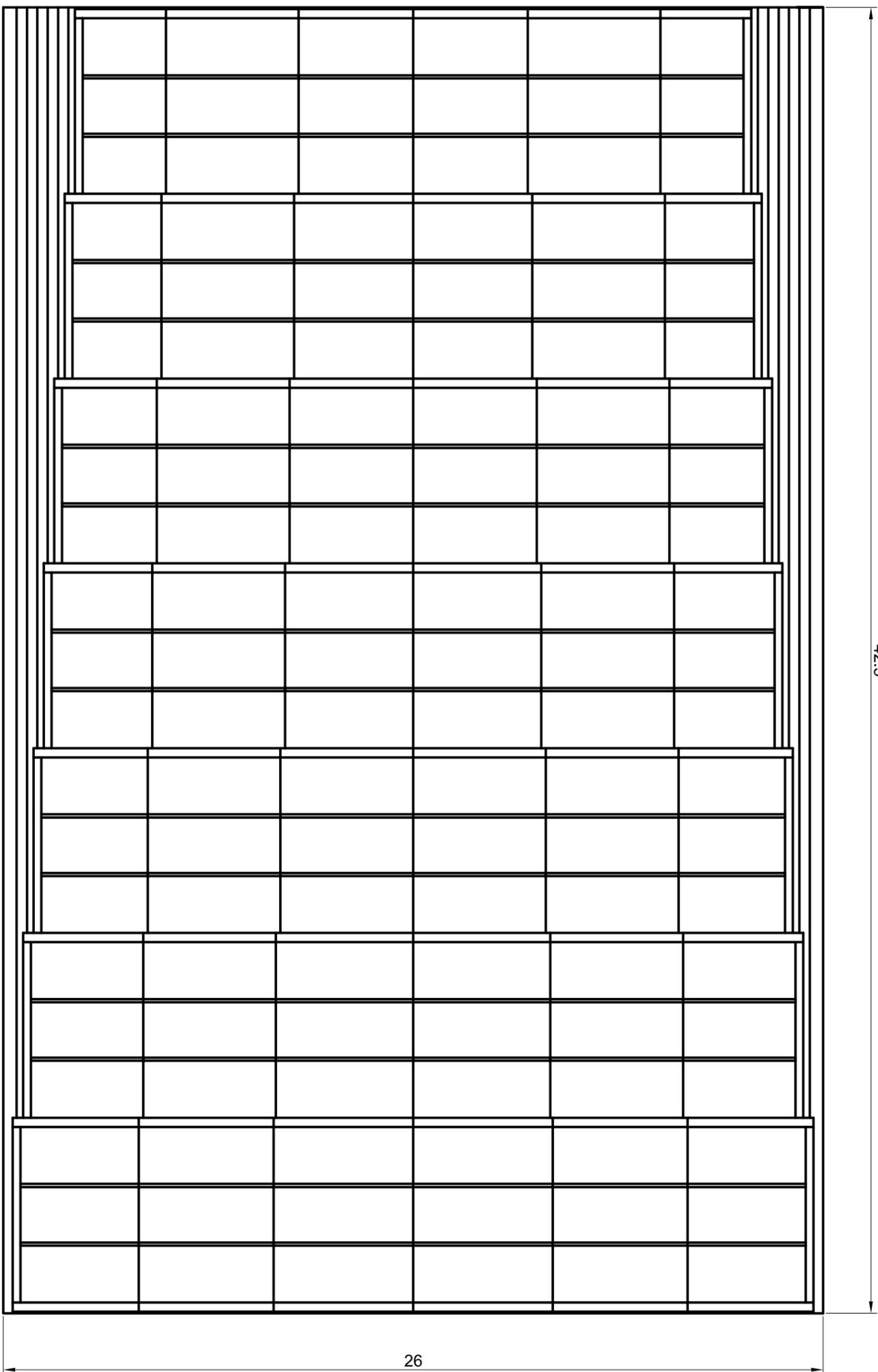
Plano:	Situación	Nº plano:	1	Escala:	-
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016



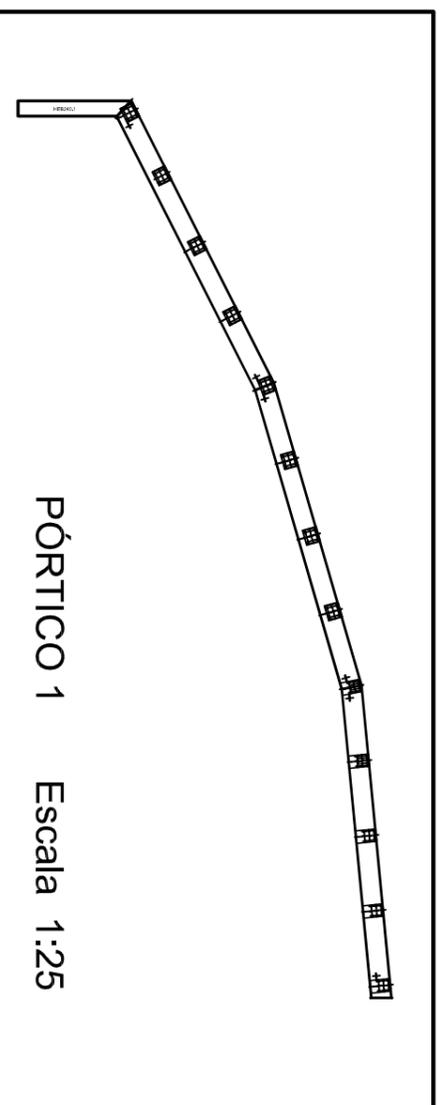
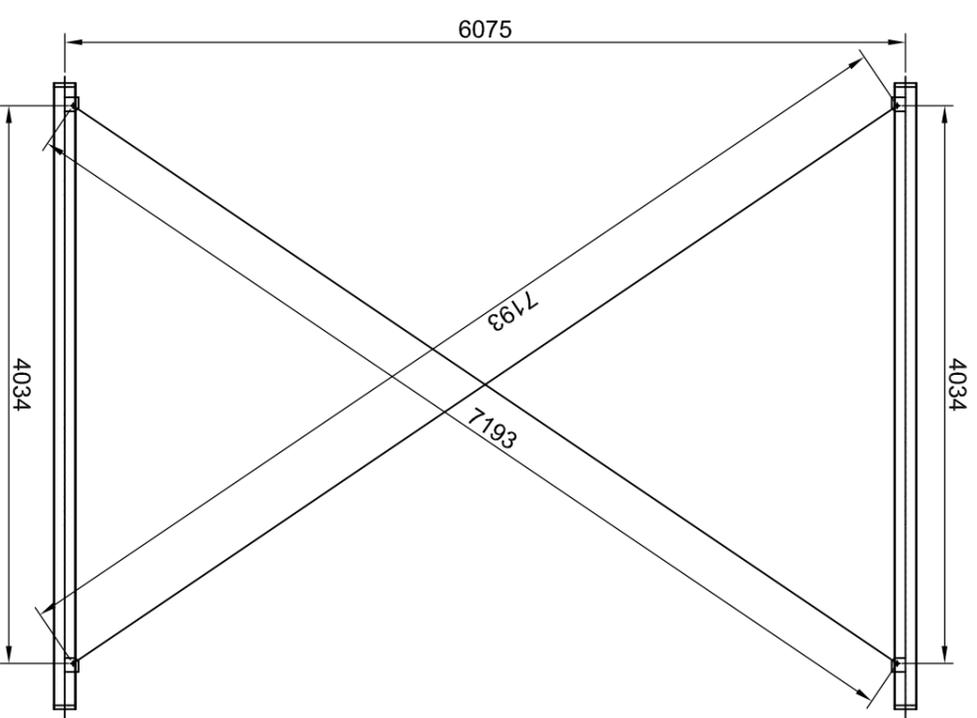
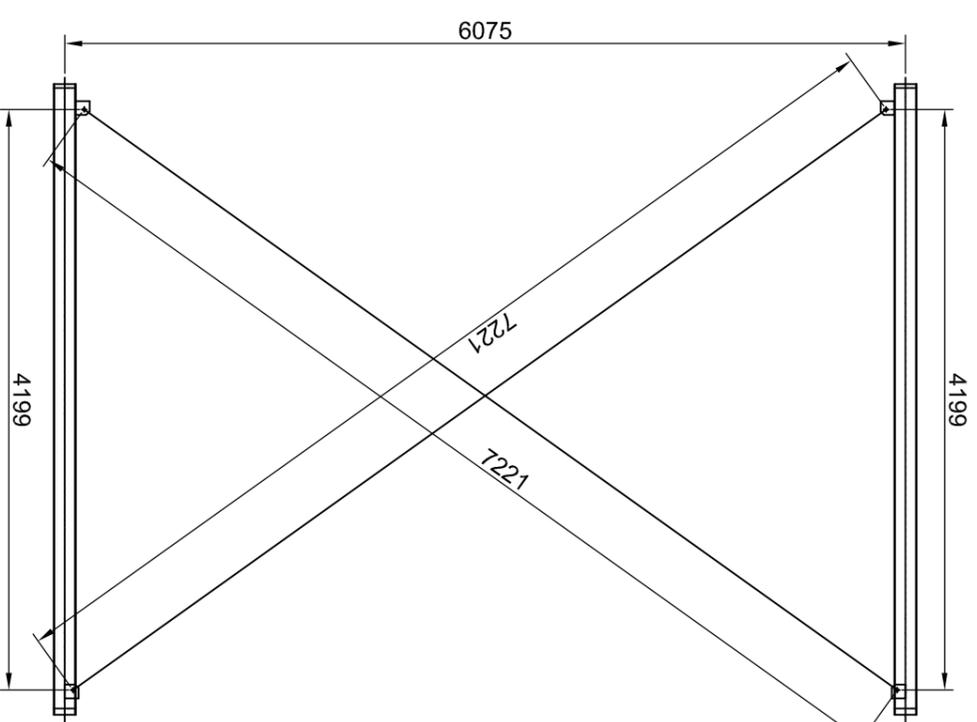
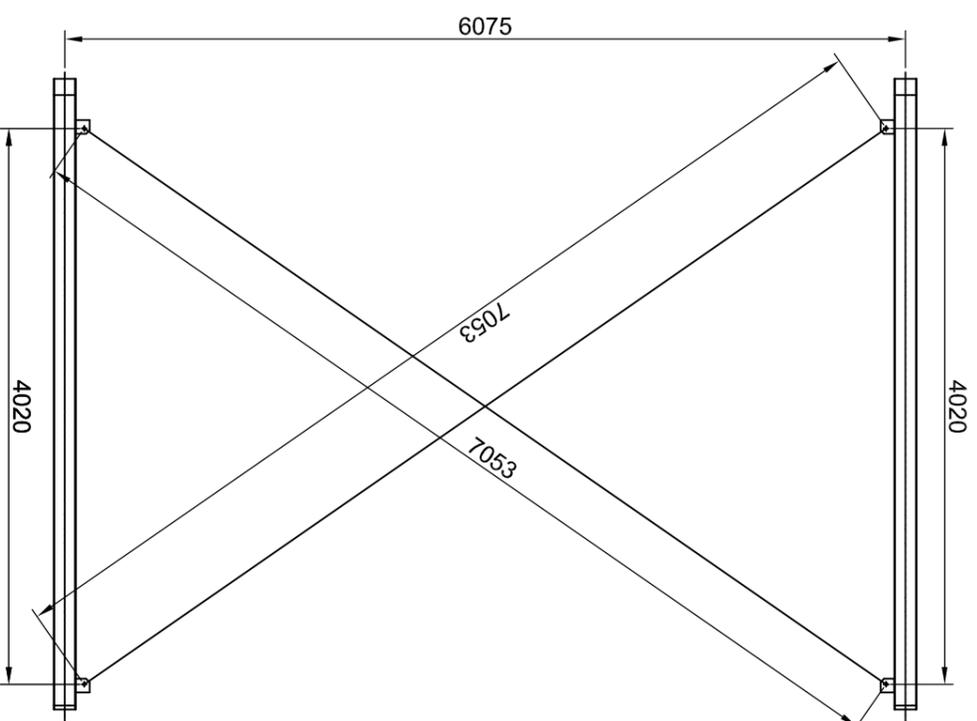
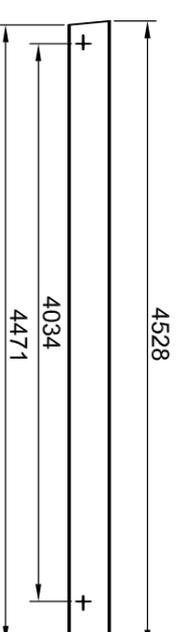
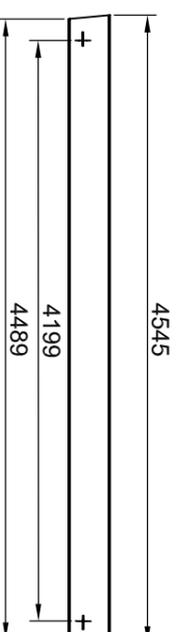
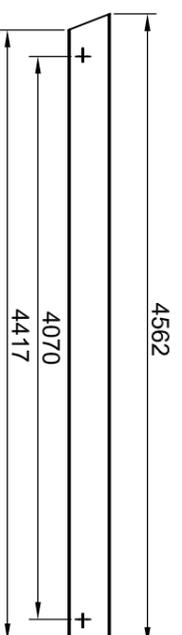
Plano:	Emplazamiento		Nº plano:	1,1	Escala:	1:2000
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



Plano:	Emplazamiento zona deportiva	Nº plano:	1.2	Escala:	1:1000
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		

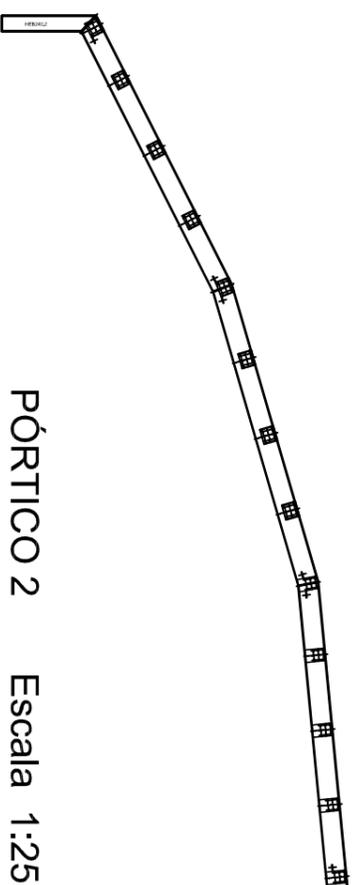
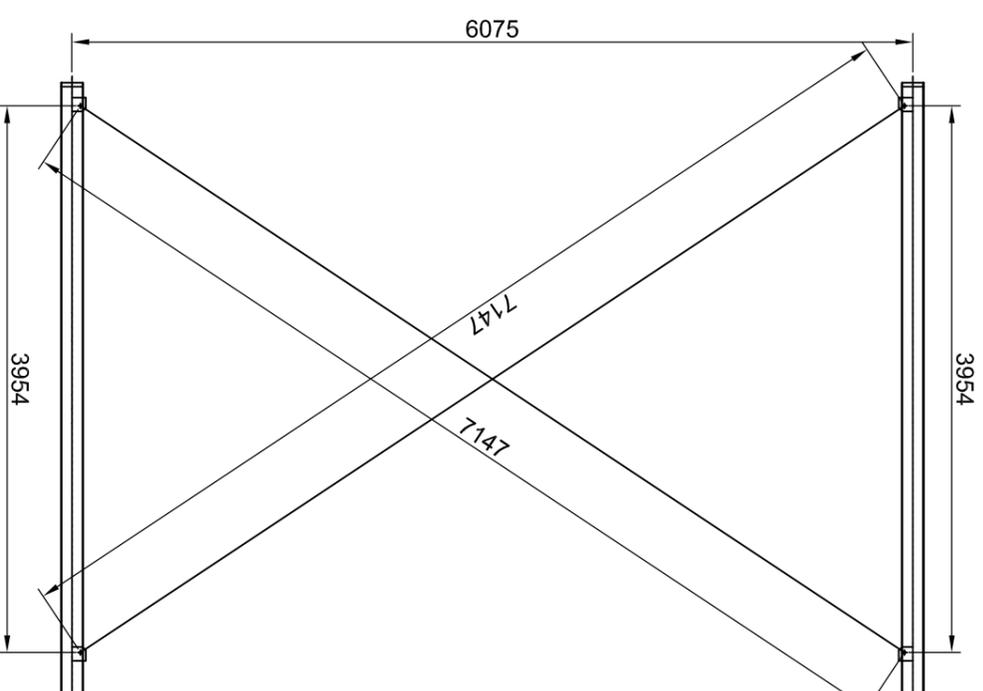
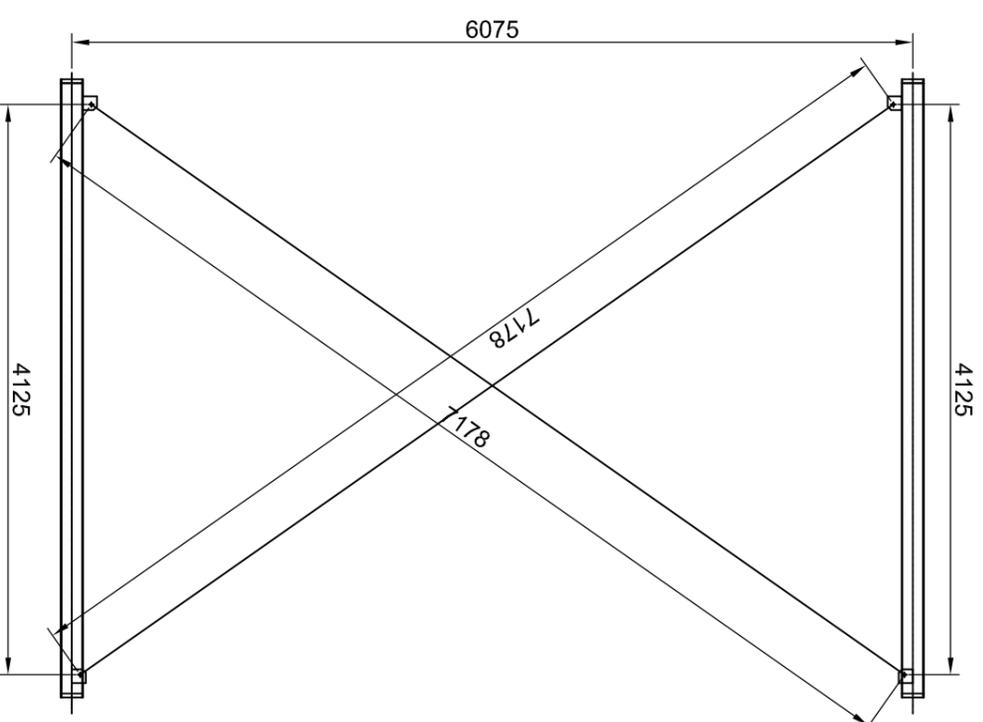
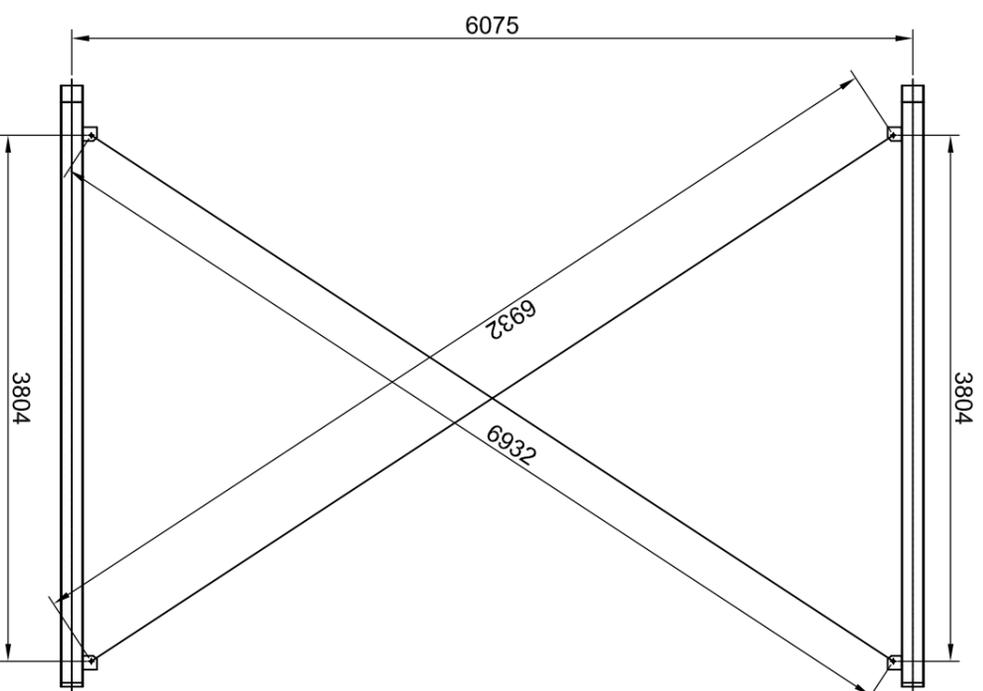
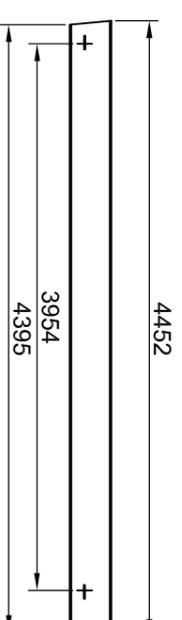
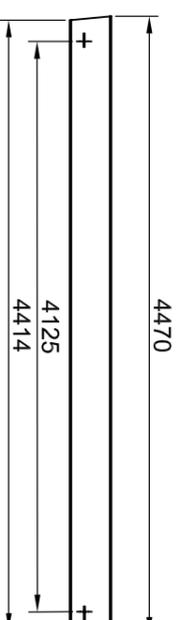
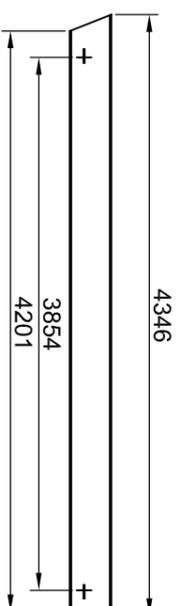


Plano:	Planta cubierta		Nº plano:	1,4	Escala:	1:50
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A4	Unidades:	m
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



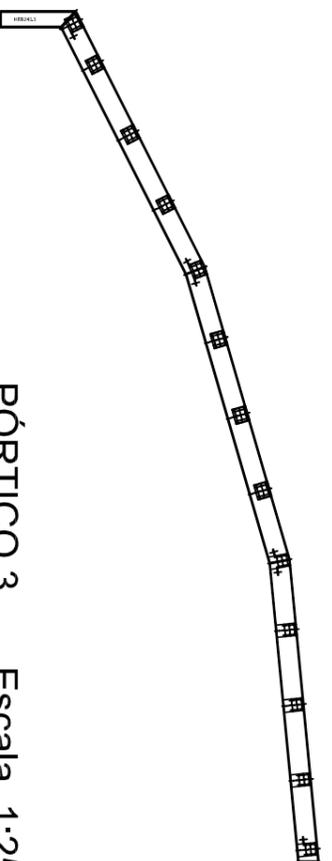
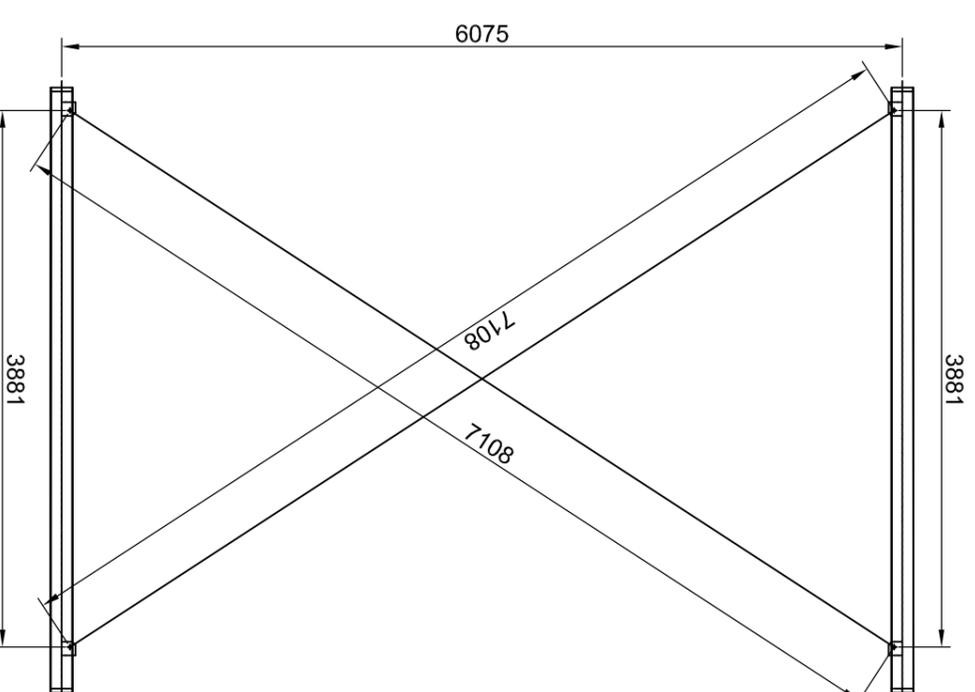
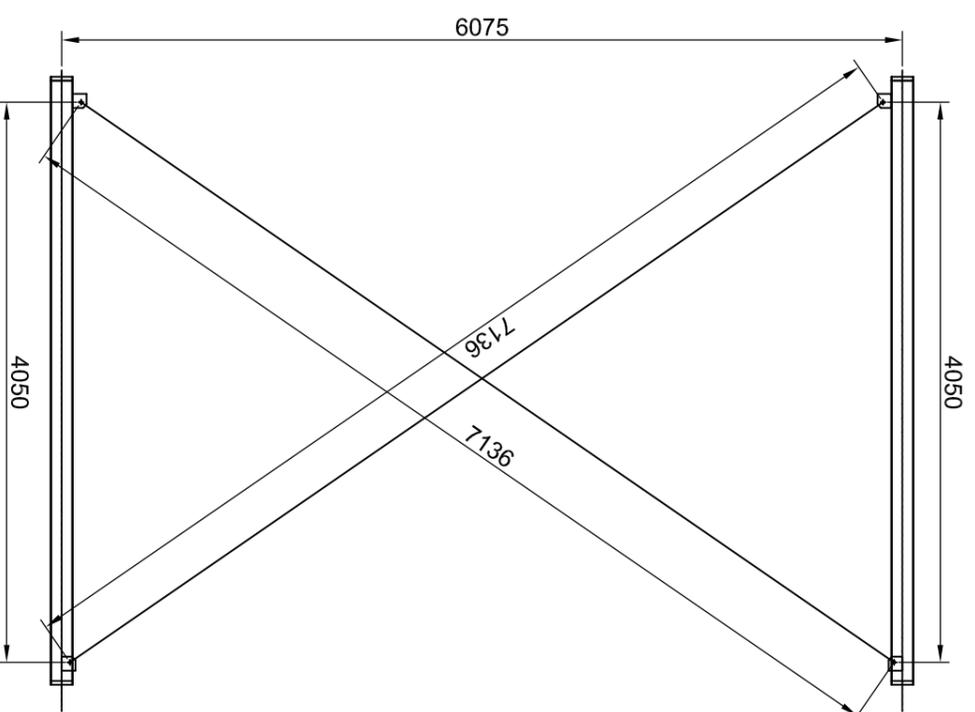
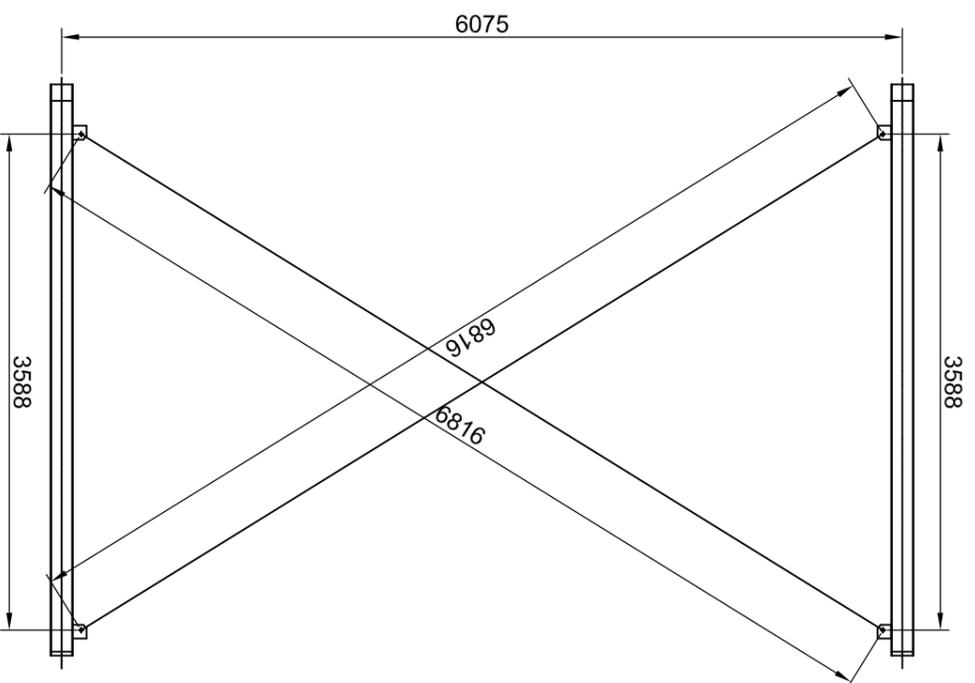
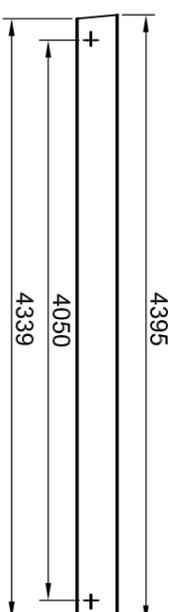
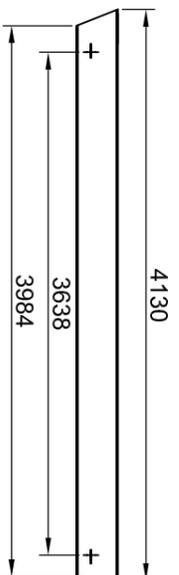
PÓRTICO 1 Escala 1:25

Plano:	Tensores pórtico 1		Nº plano:	2.1	Escala:	1:50
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



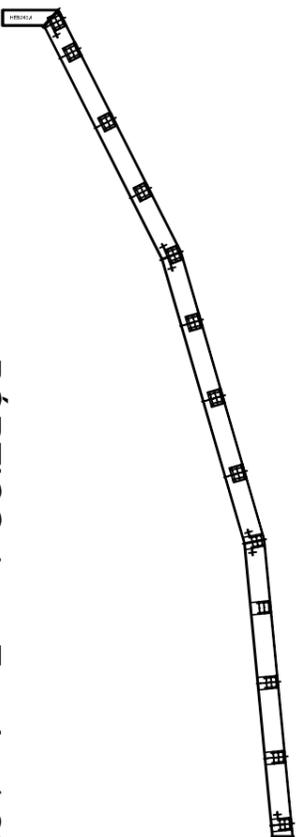
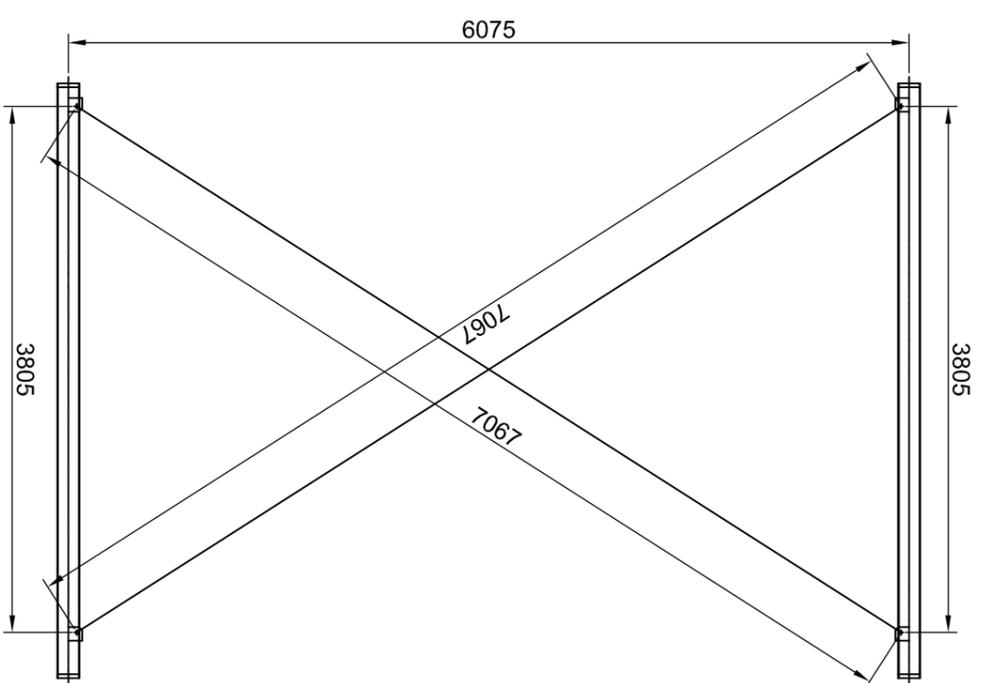
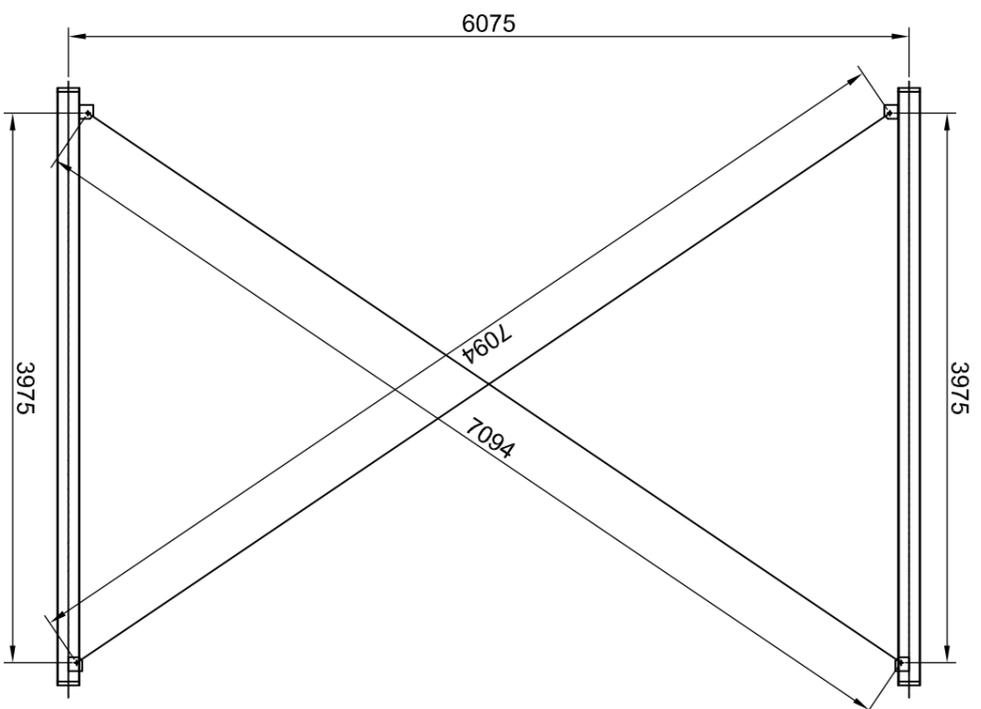
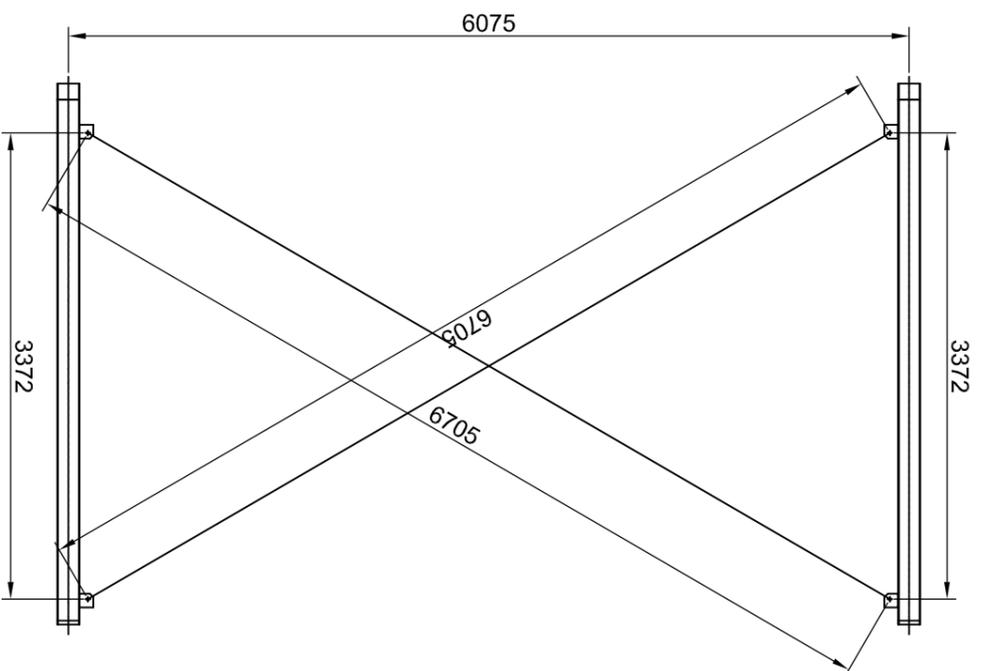
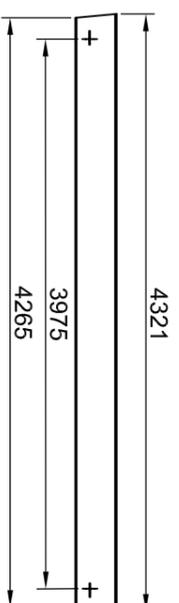
PÓRTICO 2 Escala 1:25

Plano:	Tensores pórtico 2		Nº plano:	2.1	Escala:	1:50
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



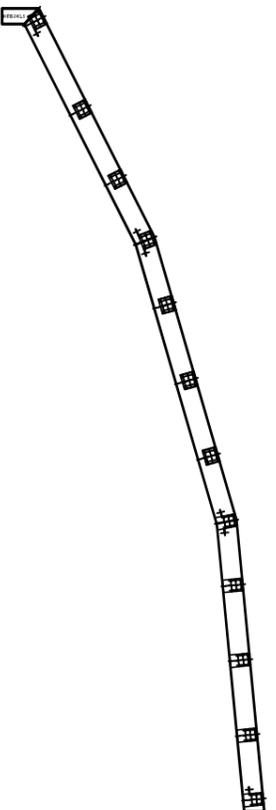
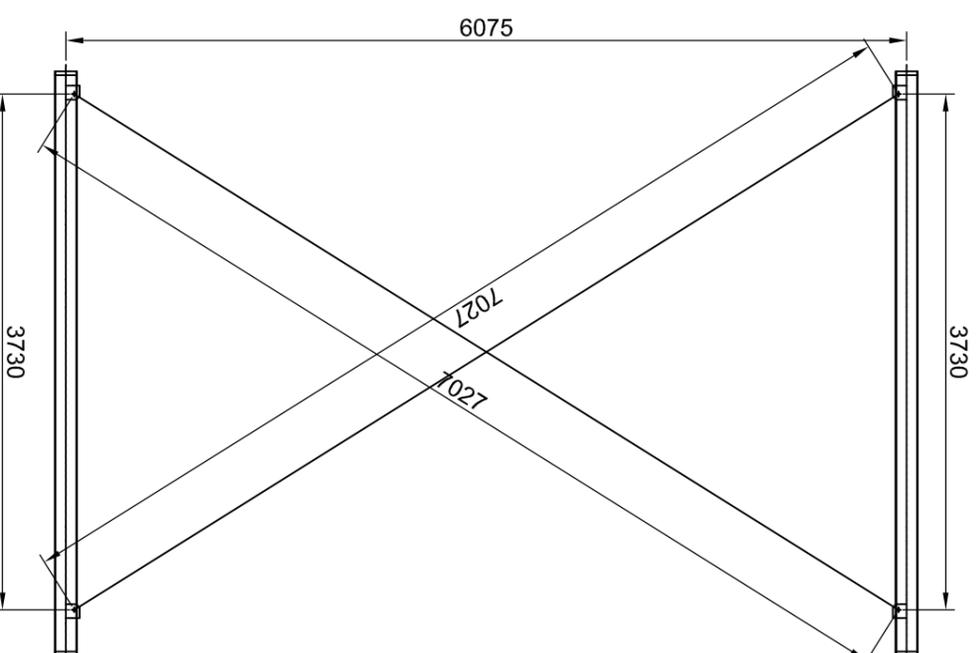
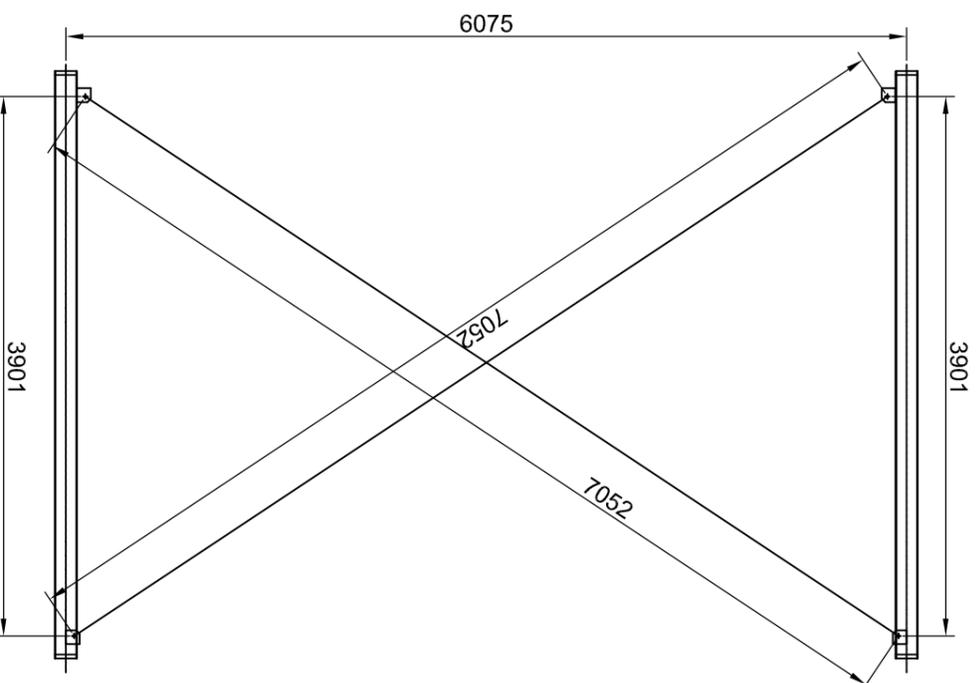
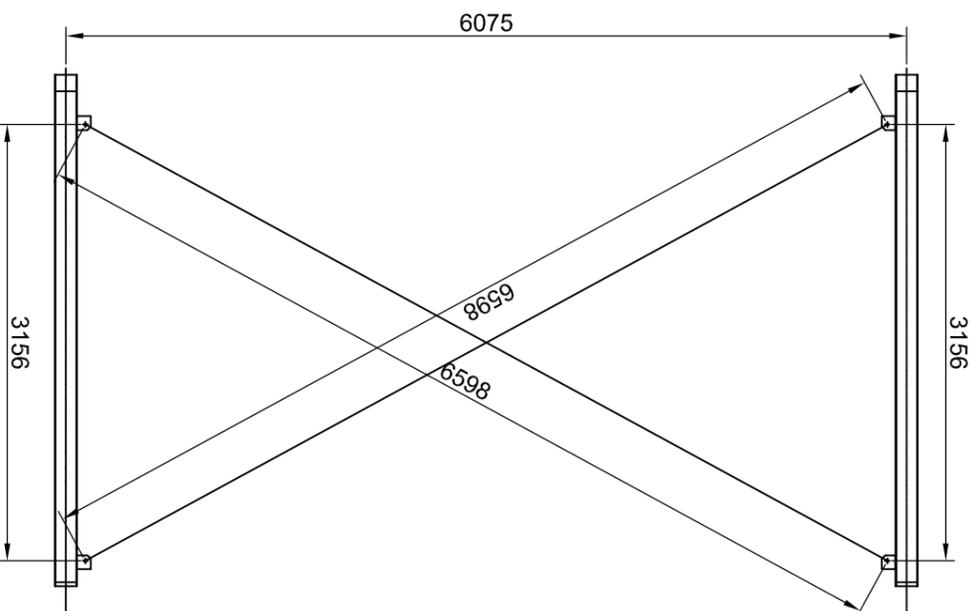
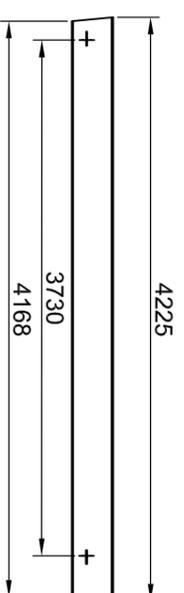
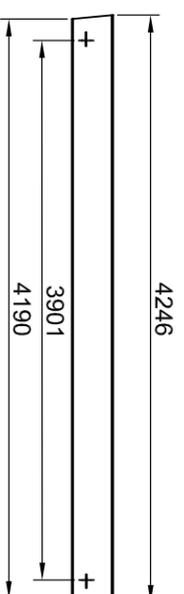
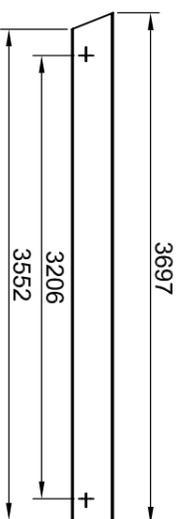
PÓRTICO 3 Escala 1:25

Plano:	Tensores pórtico 3		Nº plano:	2.1	Escala:	1:50
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



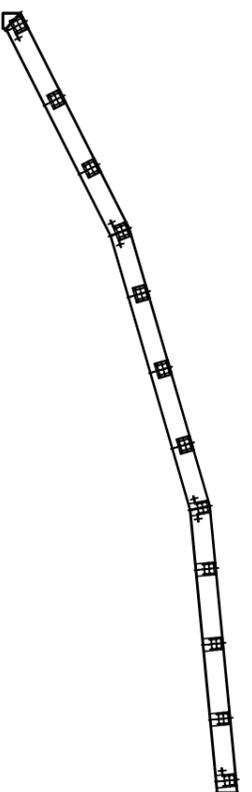
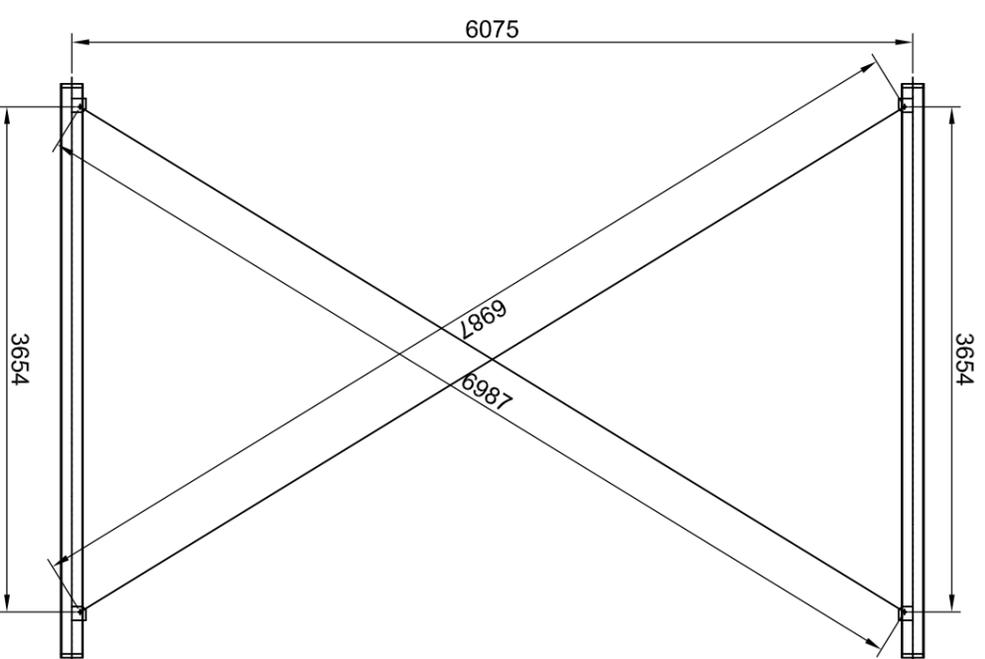
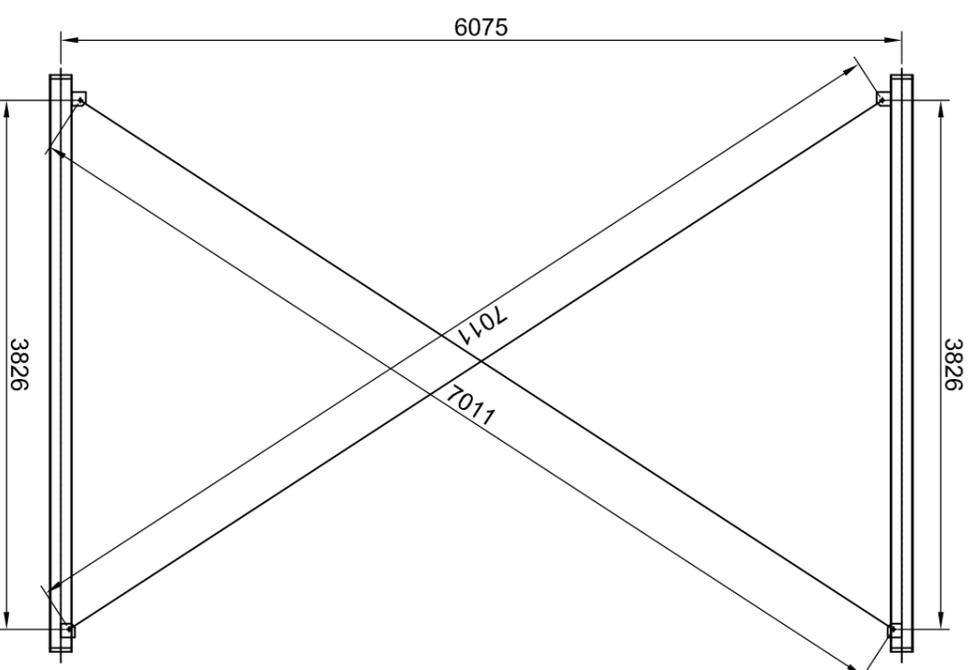
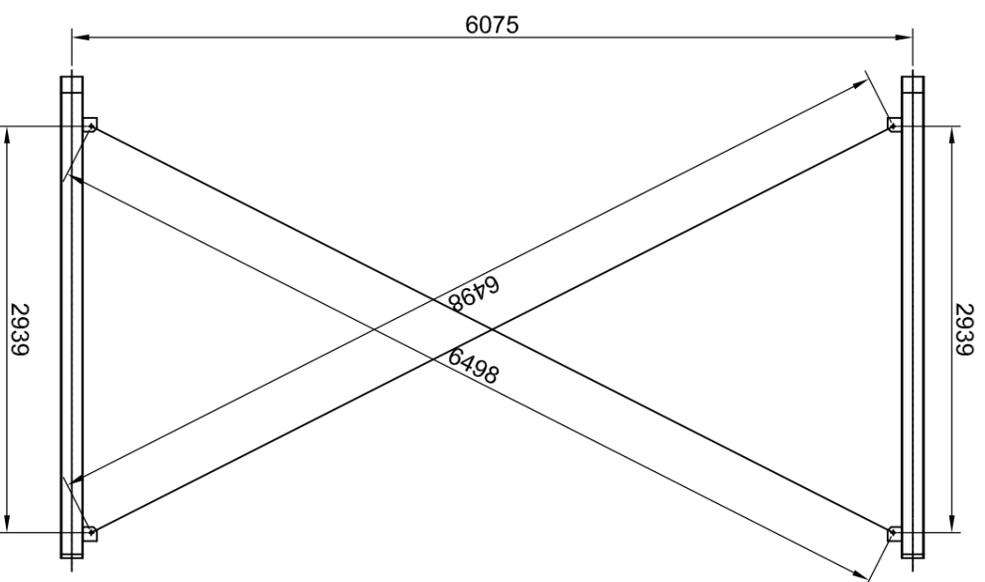
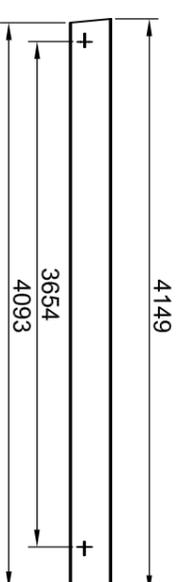
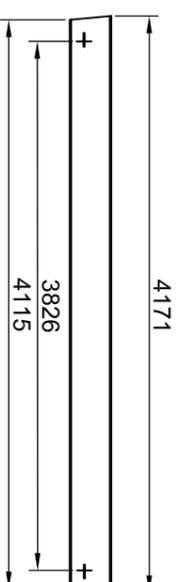
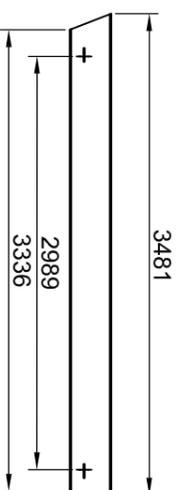
PÓRTICO 4 Escala 1:25

Plano:	Tensores pórtico 4		Nº plano:	2.1	Escala:	1:50
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



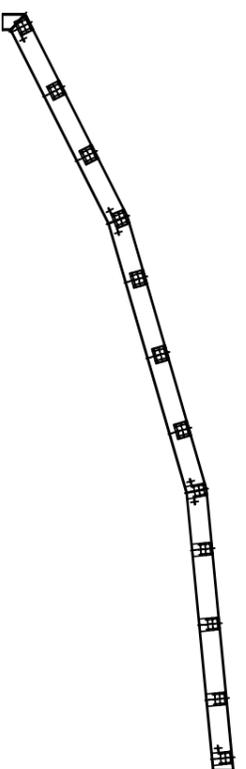
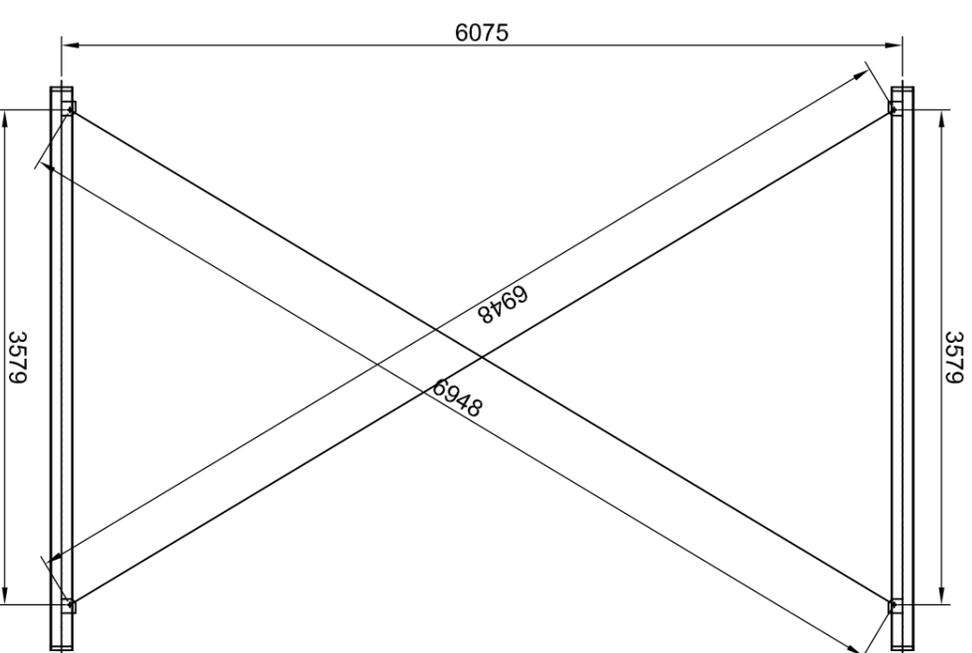
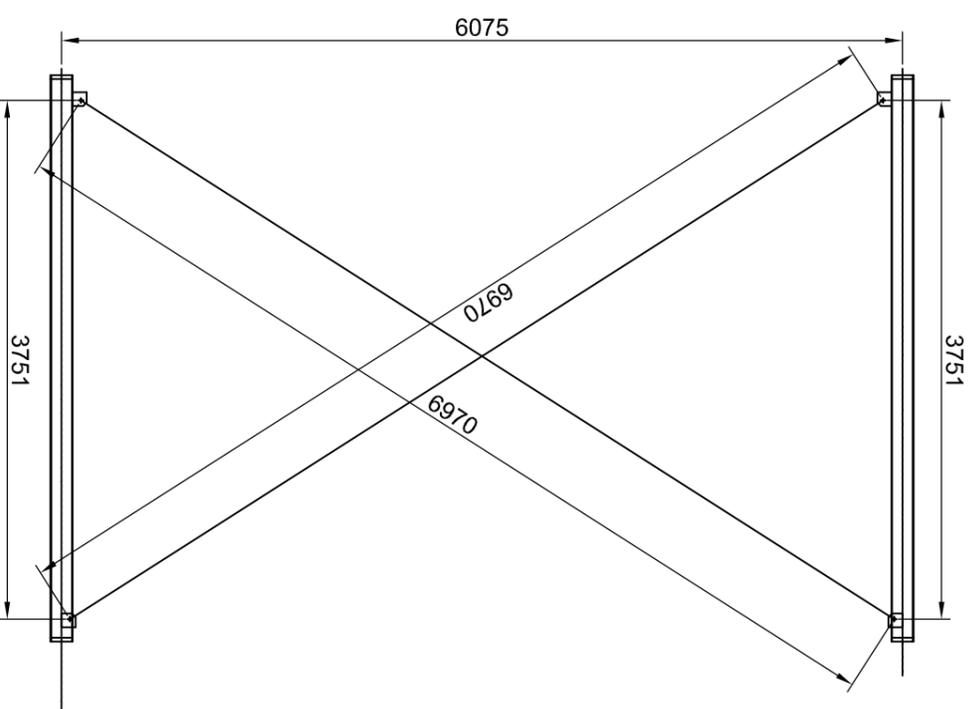
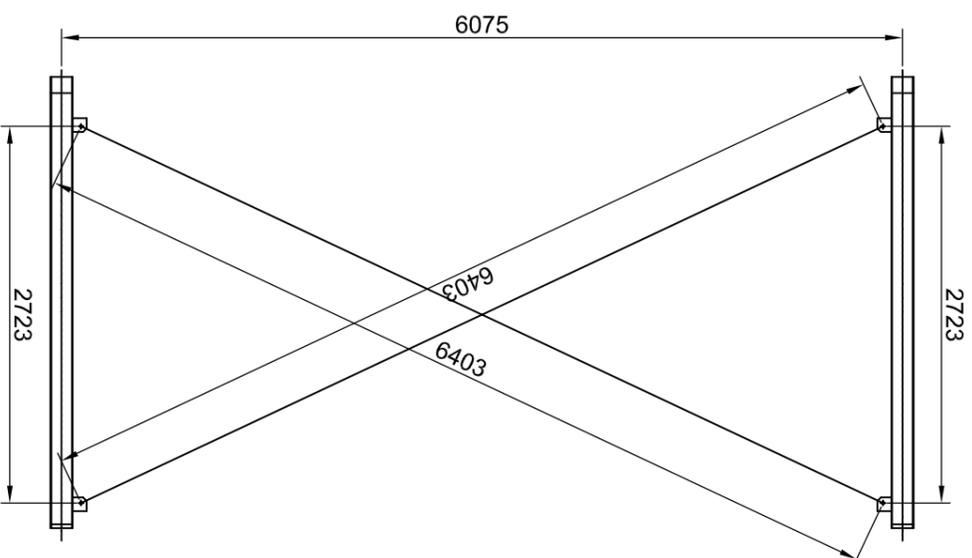
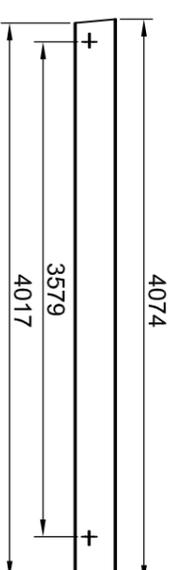
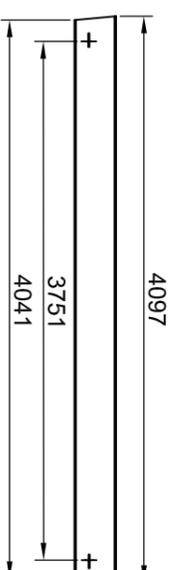
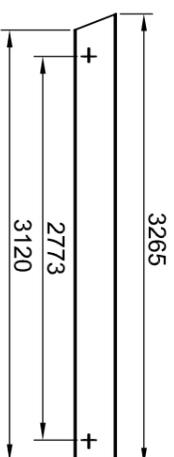
PÓRTICO 5 Escala 1:25

Plano:	Tensores pórtico 5		Nº plano:	2.1	Escala:	1:50
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



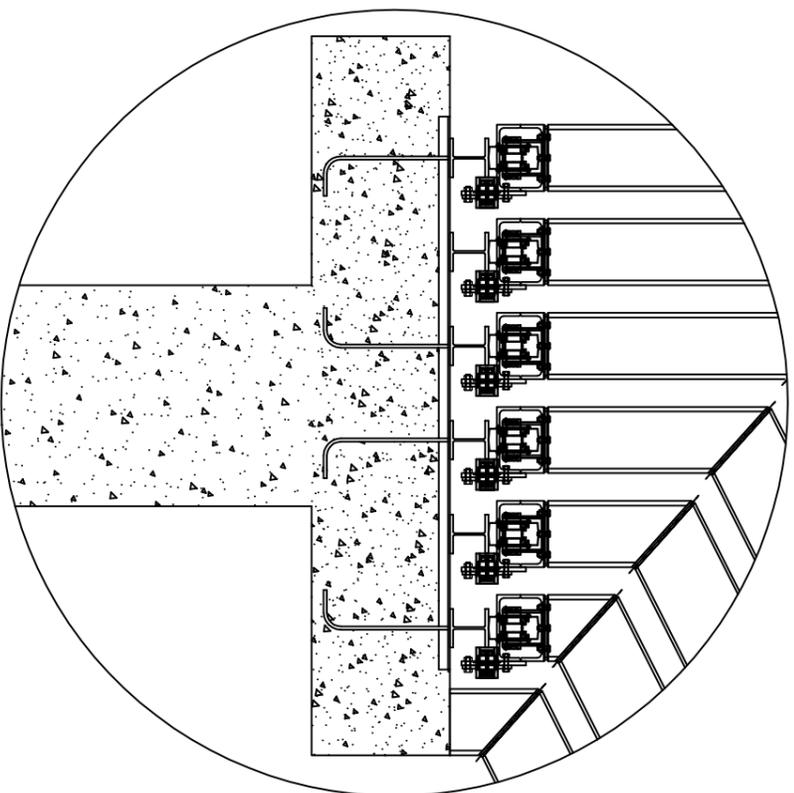
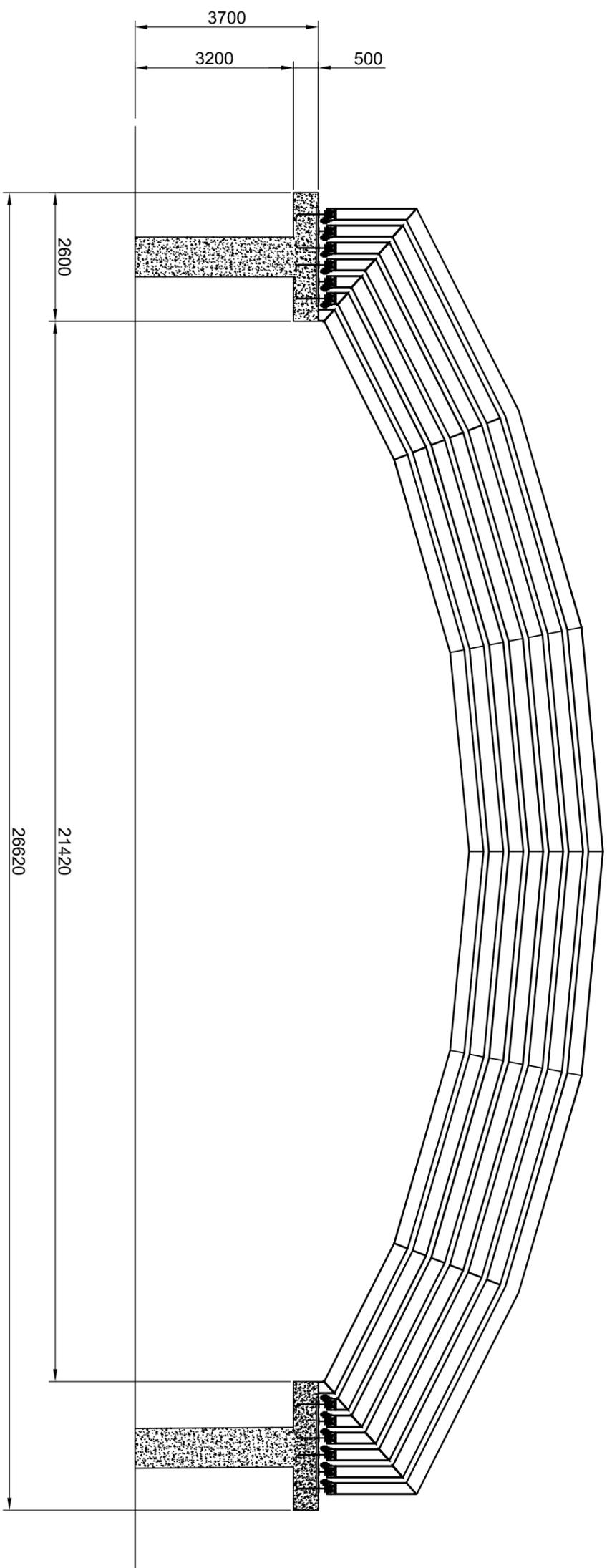
PÓRTICO 6 Escala 1:25

Plano:	Tensores pórtico 6		Nº plano:	2.1	Escala:	1:50
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		

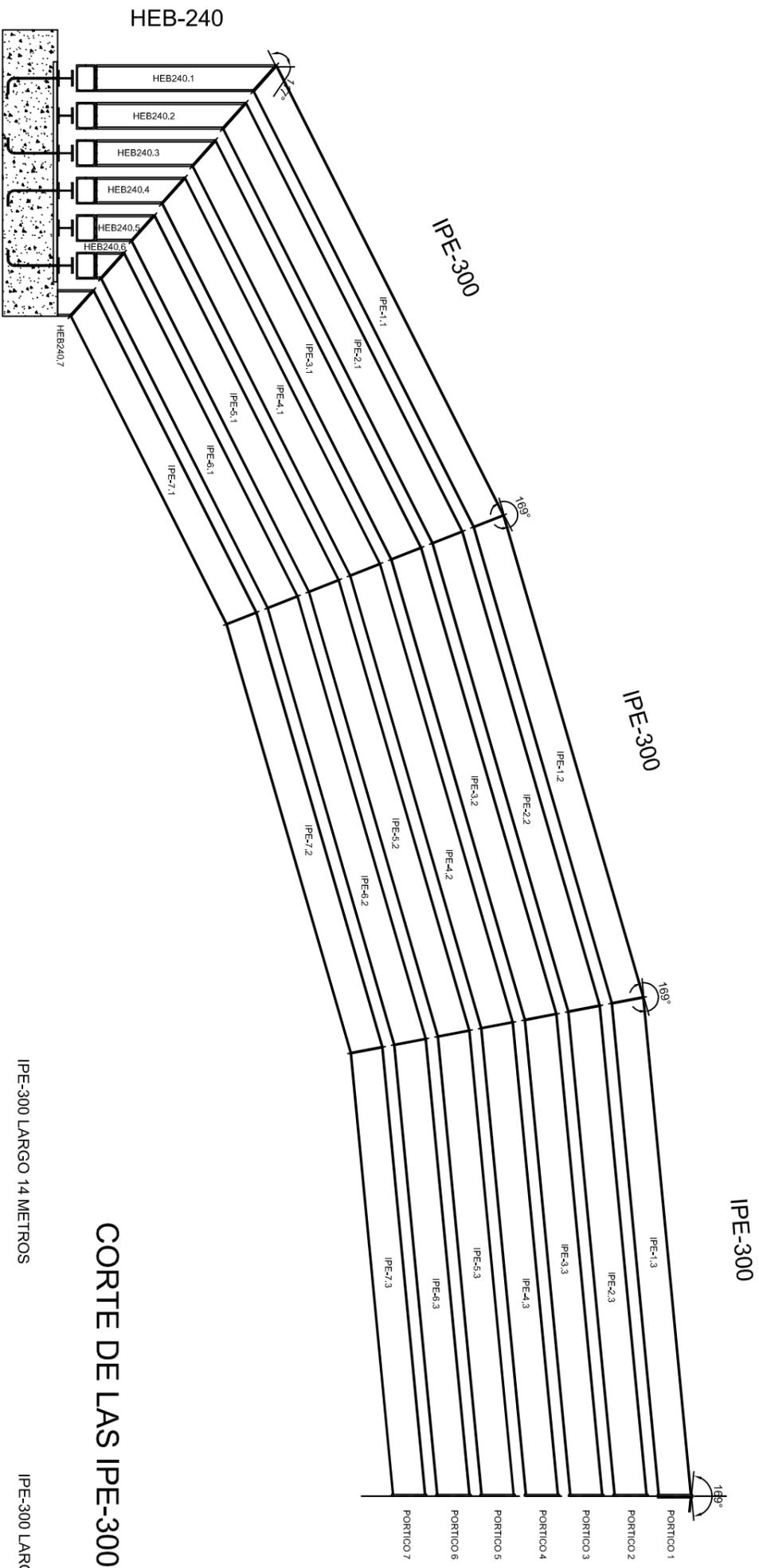


PÓRTICO 7 Escala 1:25

Plano:	Tensores pórtico 7		Nº plano:	2.1	Escala:	1:50
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



Plano:	Forjado		Nº plano:	3	Escala:	1:100
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



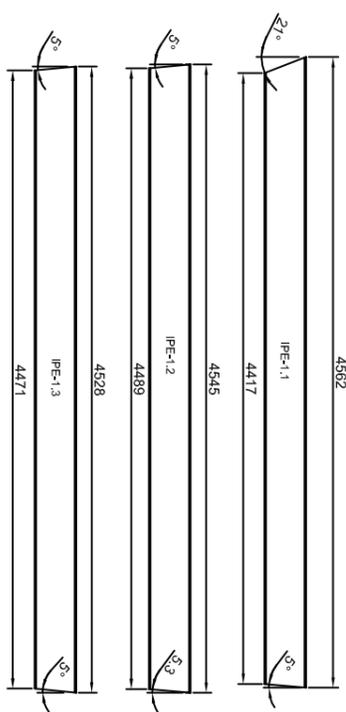
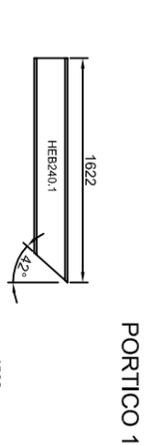
CORTE DE LAS IPE-300

IPE-300 LARGO 14 METROS

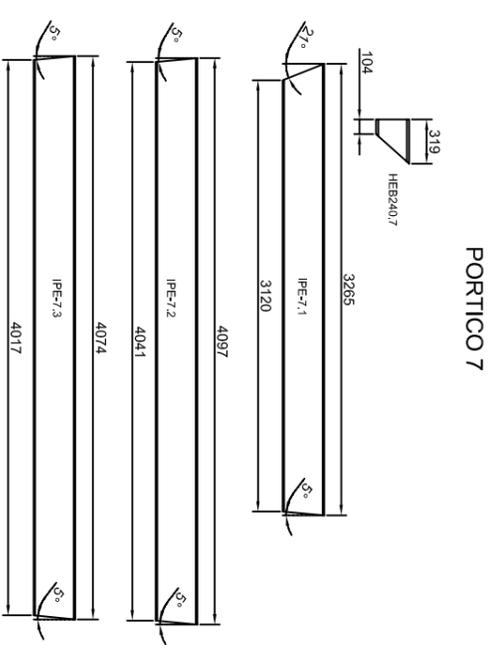
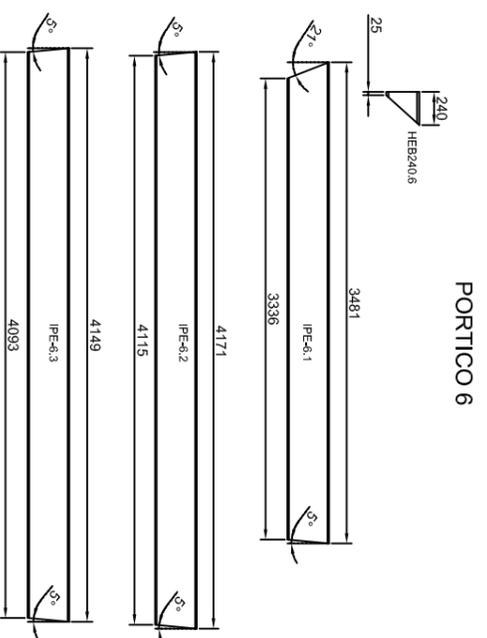
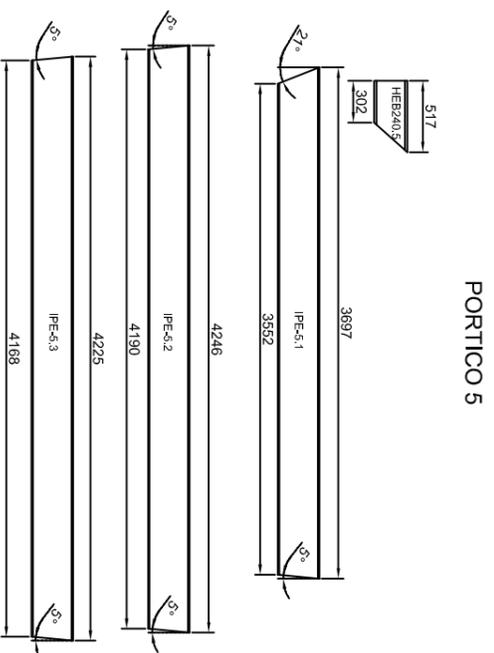
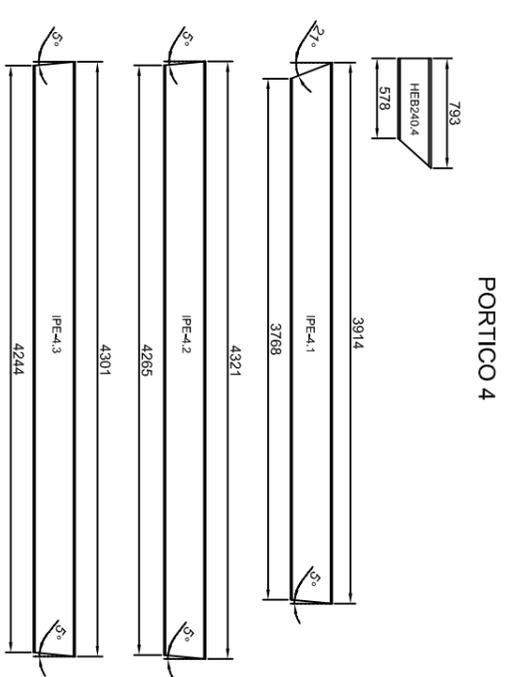
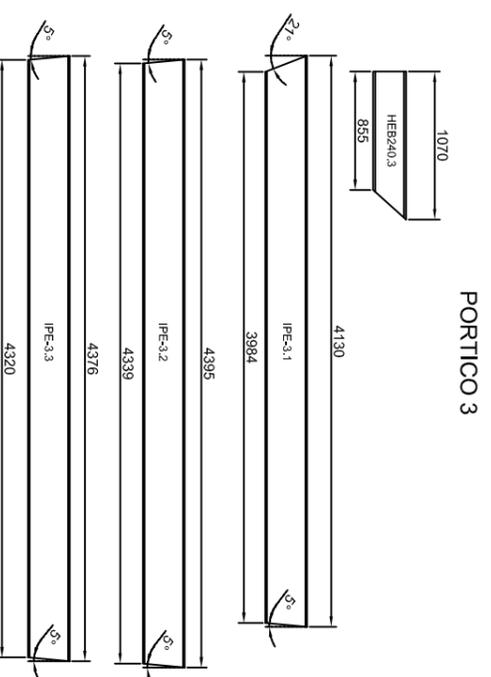
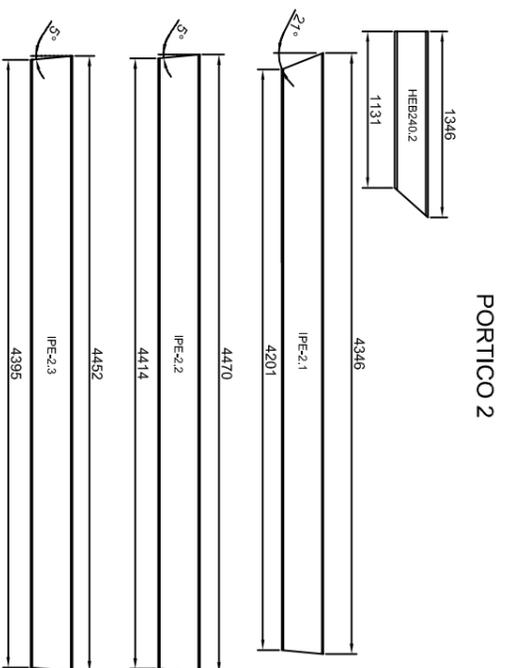
IPE-300 LARGO 12 METROS

- 3 ud de IPE-1.1
- 1 ud de IPE-1.1 y dos de IPE-1.2
- 2 ud de IPE-1.2 y una de IPE-1.3
- 3 ud de IPE-1.3
- 3 ud de IPE-2.2
- 1 ud de IPE-2.2 y dos de IPE-2.3
- 2 ud de IPE-2.3 y una de IPE-3.2
- 3 ud de IPE-3.2
- 3 ud de IPE-3.3
- 1 ud de IPE-3.3 dos de 4.2
- 2 ud de IPE-4.2 y una de 6.3
- 3 ud de IPE-6.3
- 3 ud de IPE-7.2

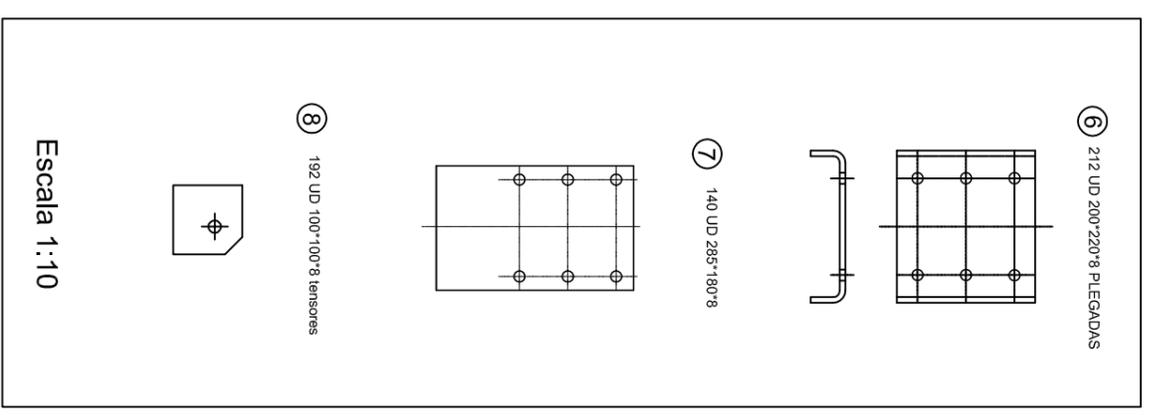
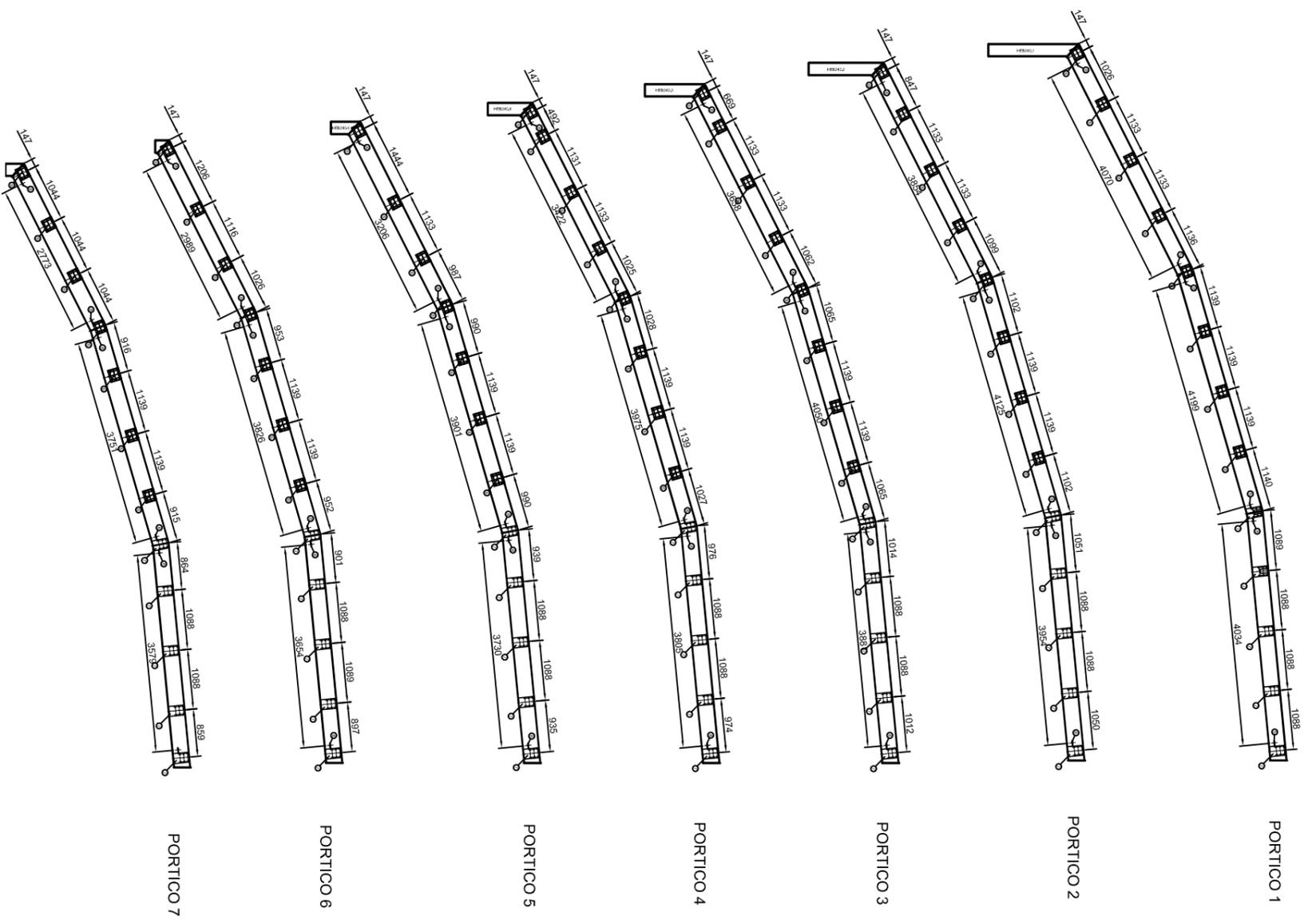
- 2 ud de IPE-2.1 y una de IPE-7.1
- 2 ud de IPE-2.1 y una de IPE-7.1
- 2 ud de IPE-3.1 y una de IPE-5.1
- 2 ud de IPE-3.1 y una de IPE-5.1
- 2 ud de IPE-4.3 y una de IPE-7.1
- 2 ud de IPE-4.3 y una de IPE-7.1
- 2 ud de IPE-5.3 y una de IPE-6.1
- 2 ud de IPE-5.3 y una de IPE-6.1
- 2 ud de IPE-5.2 y una de IPE-6.1
- 2 ud de IPE-4.1 y una de IPE-6.2
- 2 ud de IPE-4.1 y una de IPE-6.2
- 2 ud de IPE-7.3 y una de IPE-5.1
- 2 ud de IPE-7.3 y una de IPE-5.1
- 1 ud de IPE-7.2 y una de IPE-6.2



Plano:	Despiece perfiles IPE y HEB		Nº plano:	4	Escala:	1:50
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		

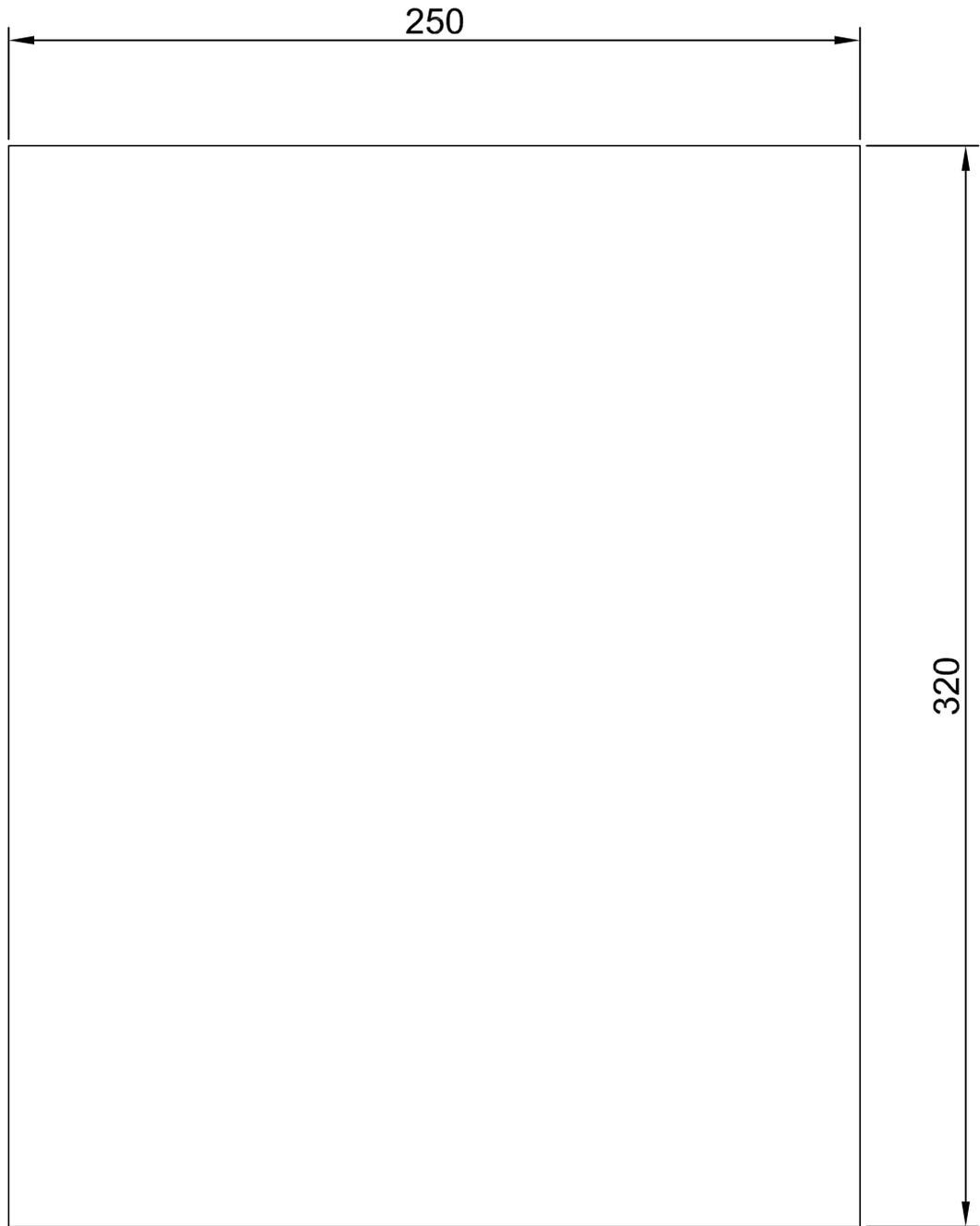


Plano:	Despiece perfiles IPE y HEB		Nº plano:	4.1	Escala:	1:50
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



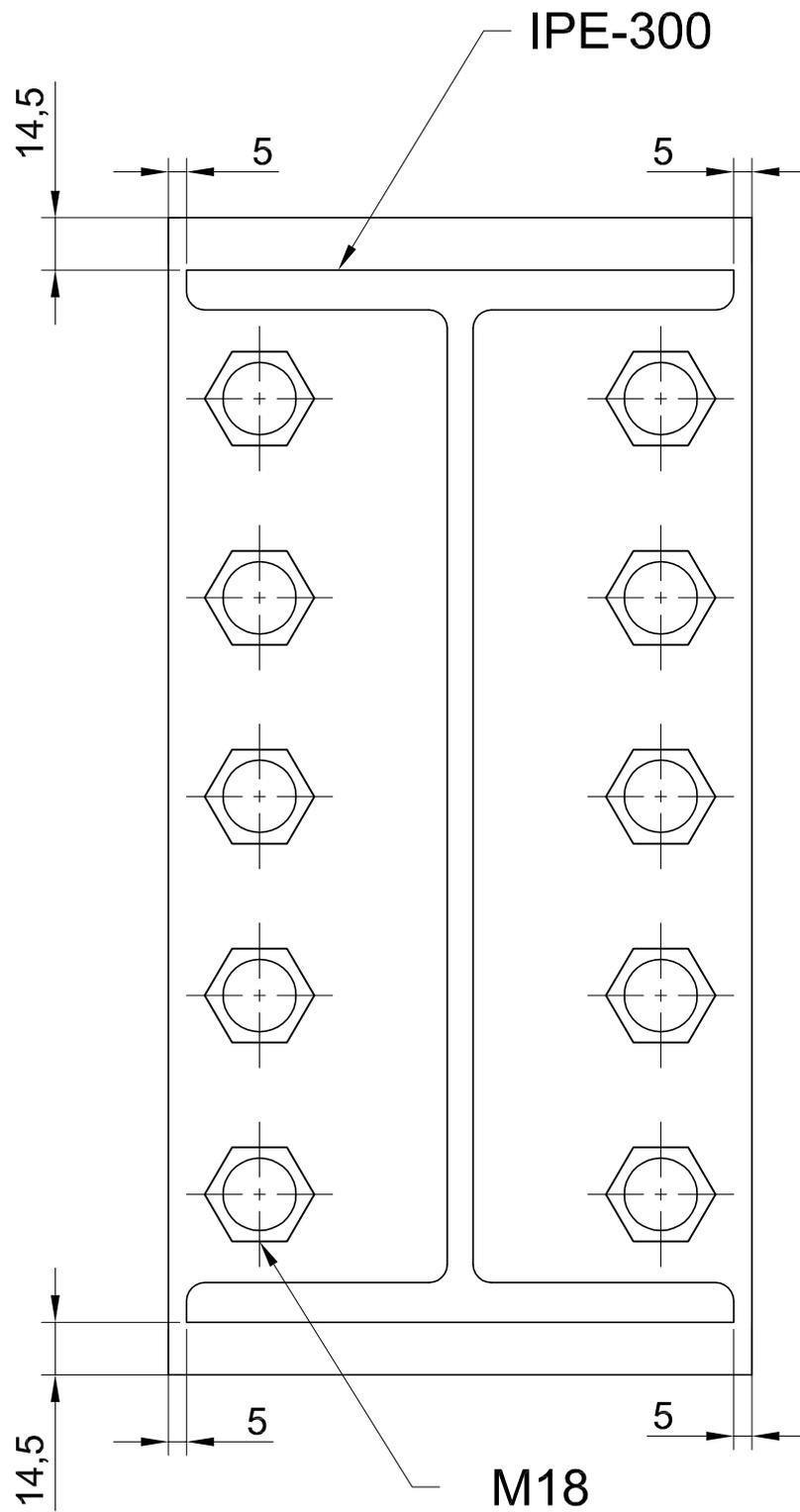
Plano:	Disposicion placas sobre vigas	Nº plano:	5	Escala:	1:100
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retracil	Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		

1



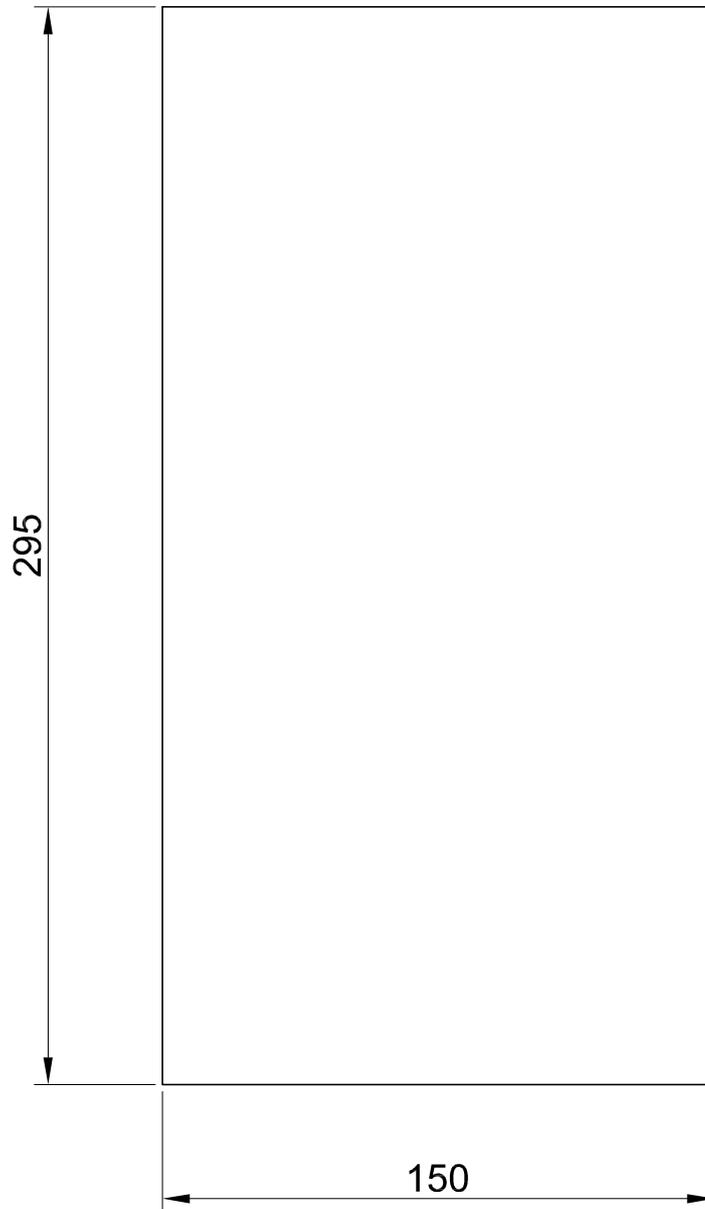
espesor 8 mm

Plano:	Placa nº - 1 unión IPE - HEB	Nº plano:	5.1	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016



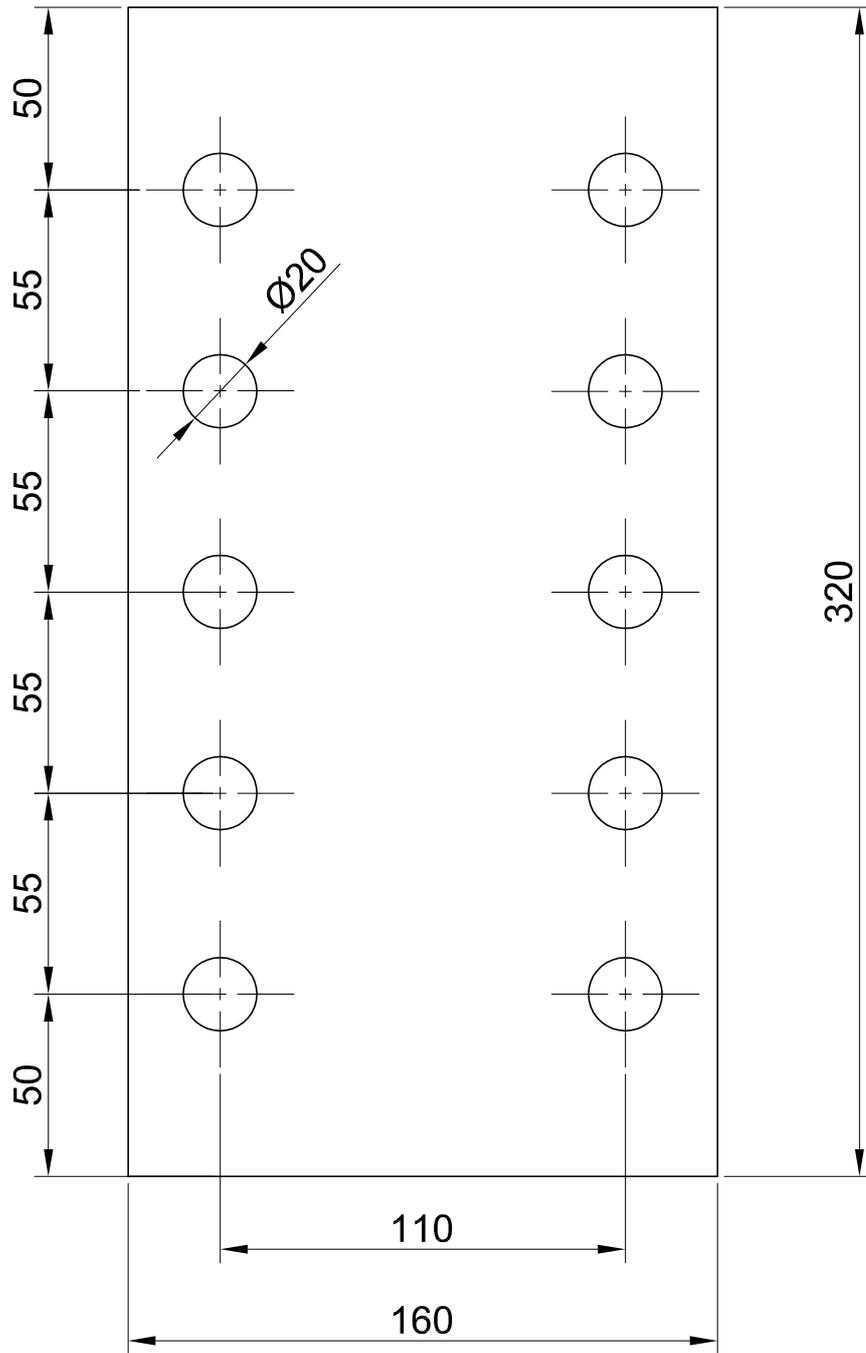
Plano:	Placa nº - 3 unión entre porticos IPE - IPE	Nº plano:	5.3.1	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016

2



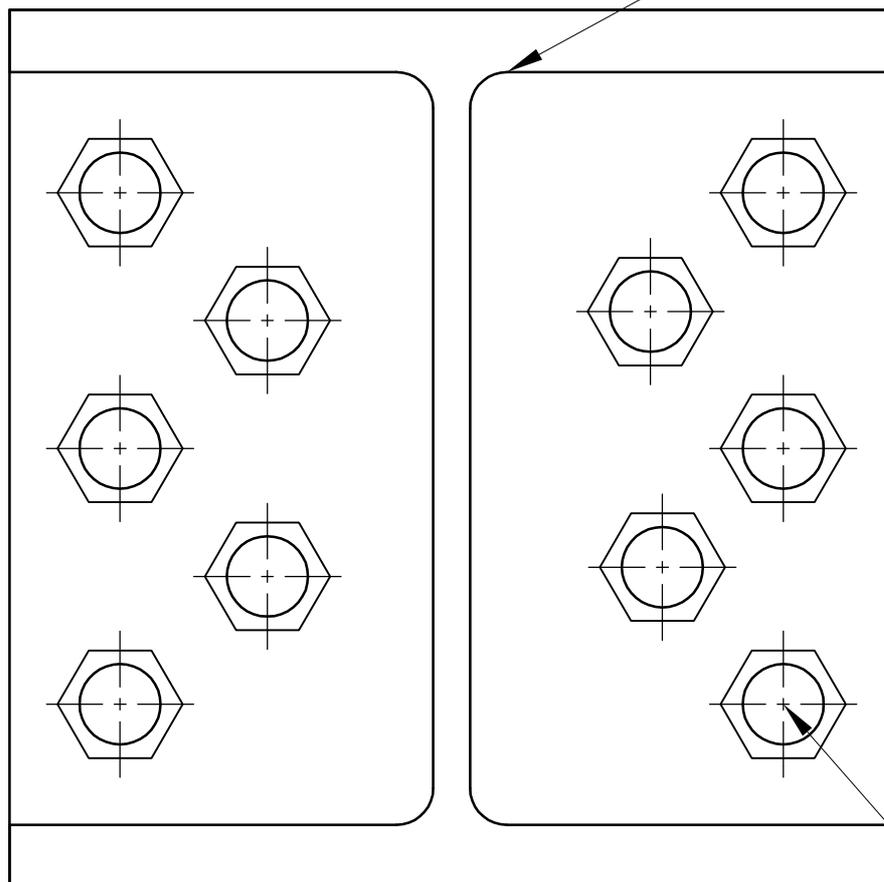
Plano:	Placa nº - 2 unión IPE -IPE	Nº plano:	5.2	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016

3



Plano:	Placa nº - 3 unión entre porticos IPE - IPE	Nº plano:	5.3	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016

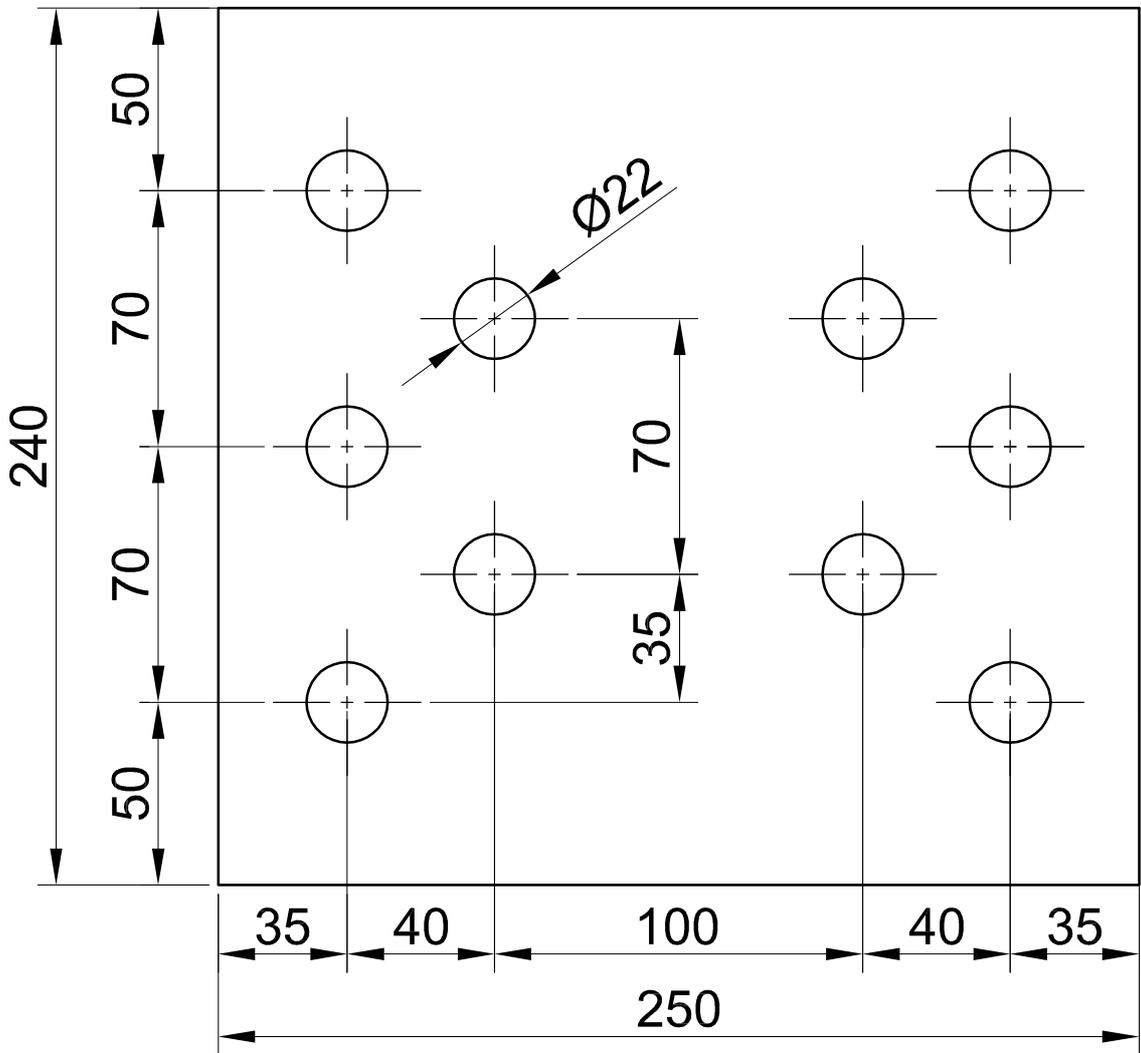
HEB-240



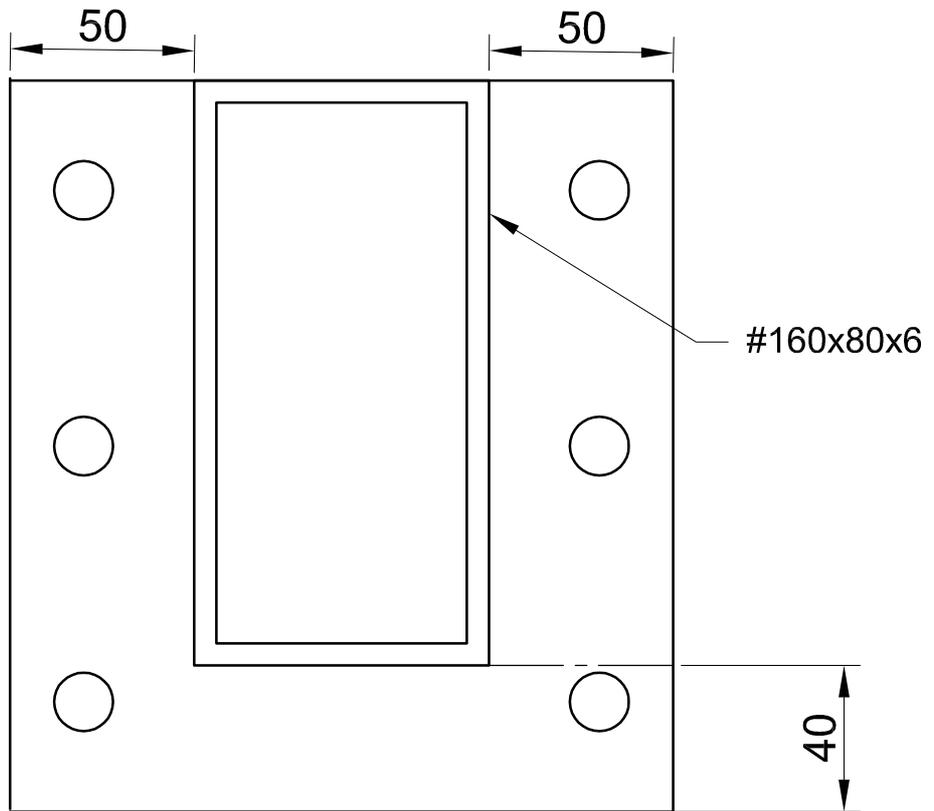
M20

Plano:	Disposición placa nº - 4 union HEB - carros	Nº plano:	5.4.1	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016

4

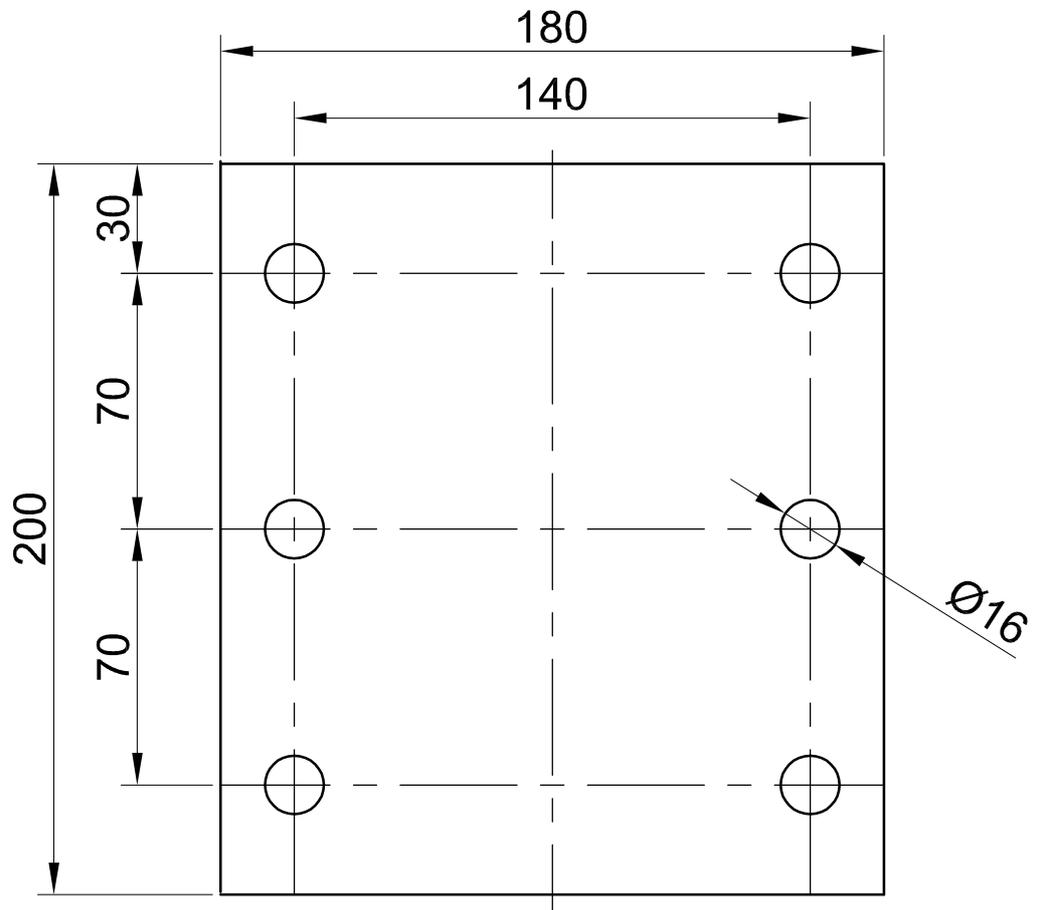


Plano:	Plana nº - 4 unión HEB - carros	Nº plano:	5.4	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016



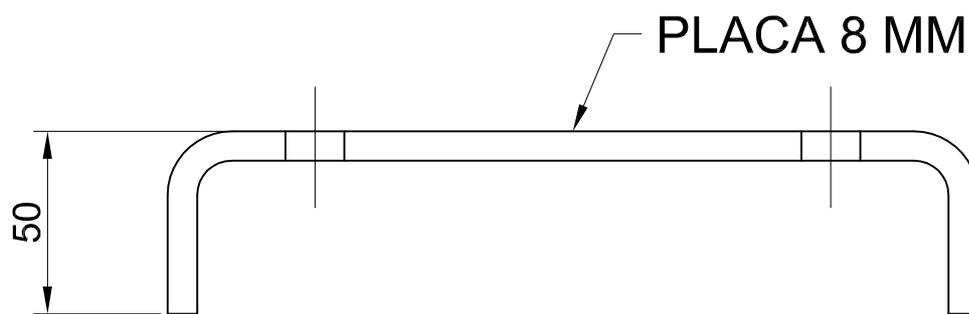
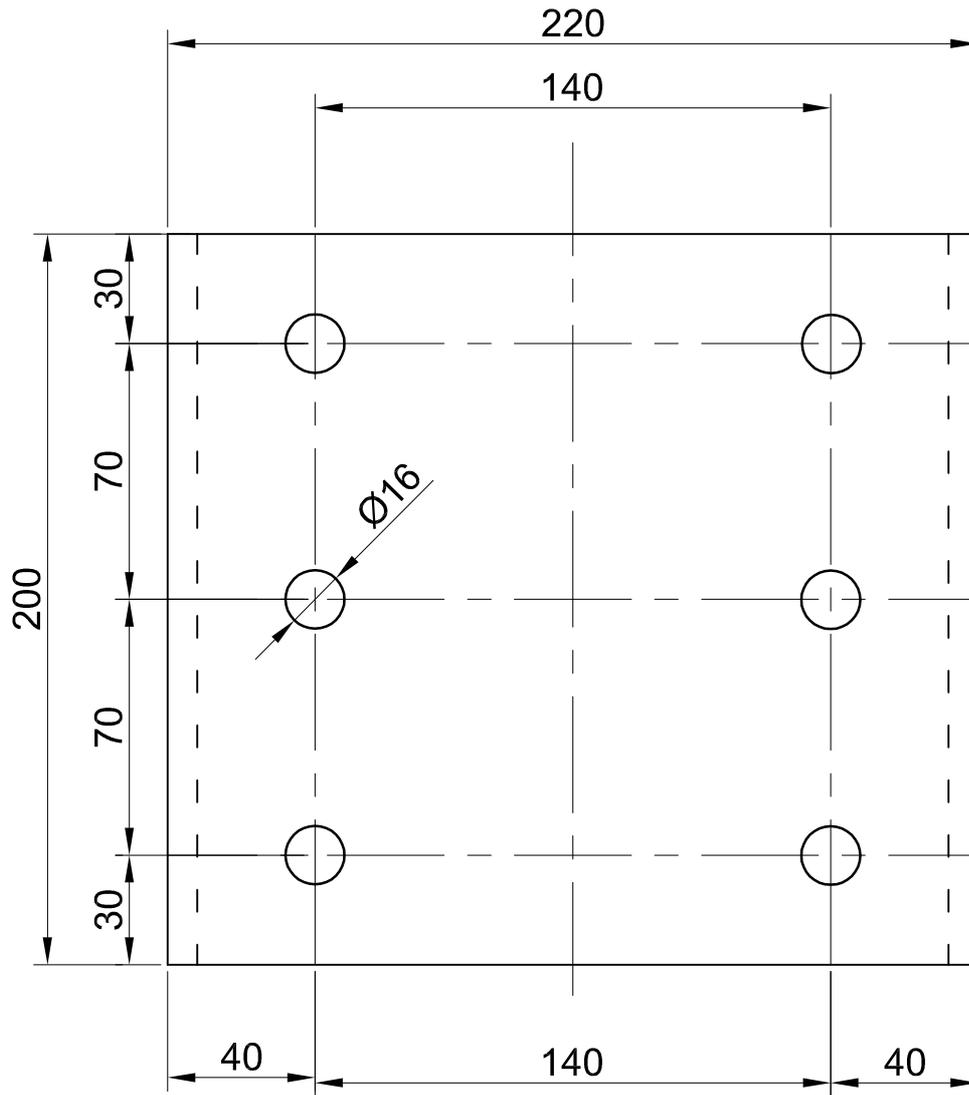
Plano: Disposición placa unión soldada a correas # 160x80x6 mm	Nº plano: 5.5.1	Escala: 1:2
Proyecto: Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato: A4	Unidades: mm
Autor: Javier Martí Miralles		Fecha: noviembre 2016

5



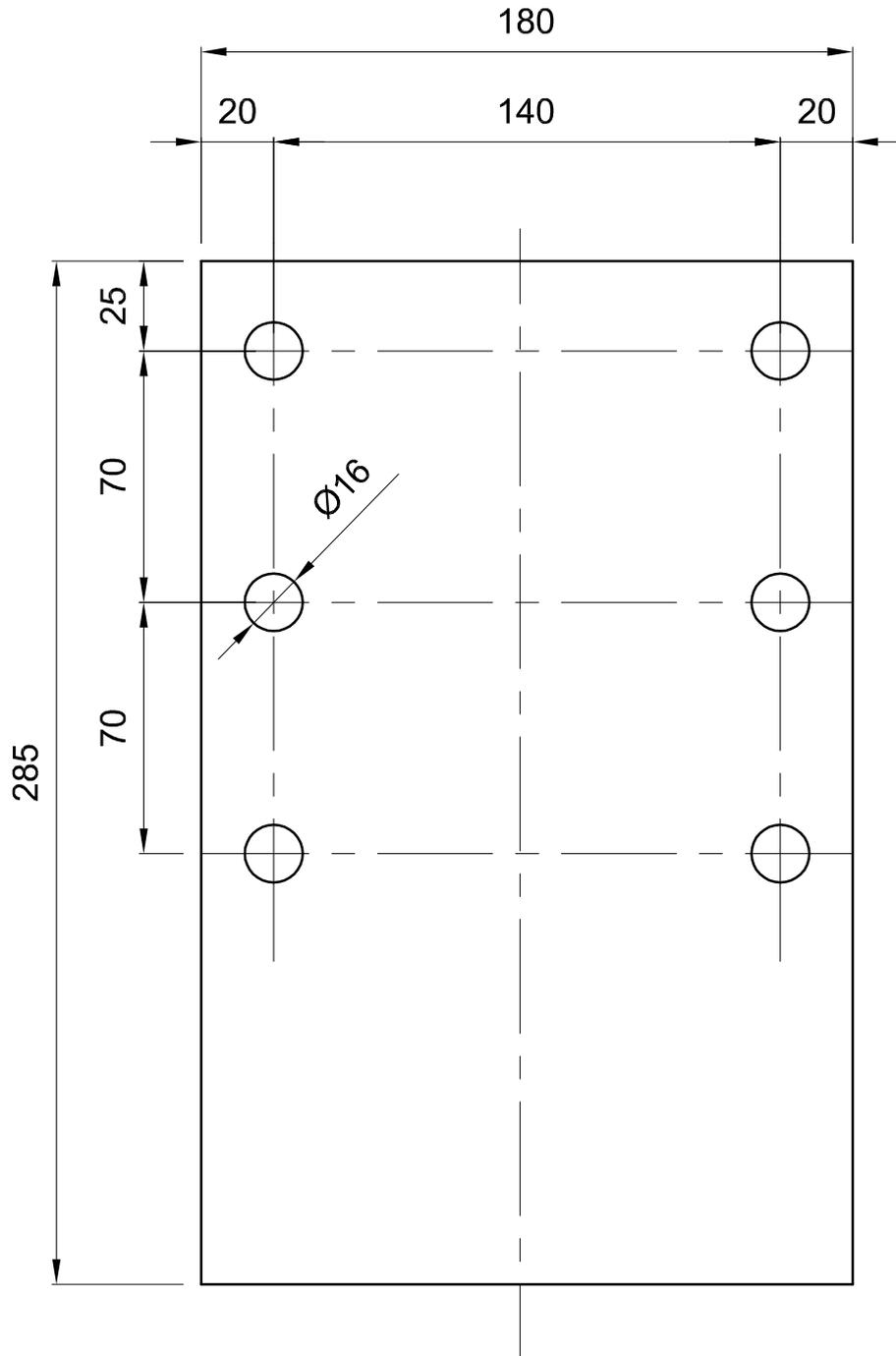
Plano:	Placa unión soldada a correas # 160x80x6 mm	Nº plano:	5.5	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016

6

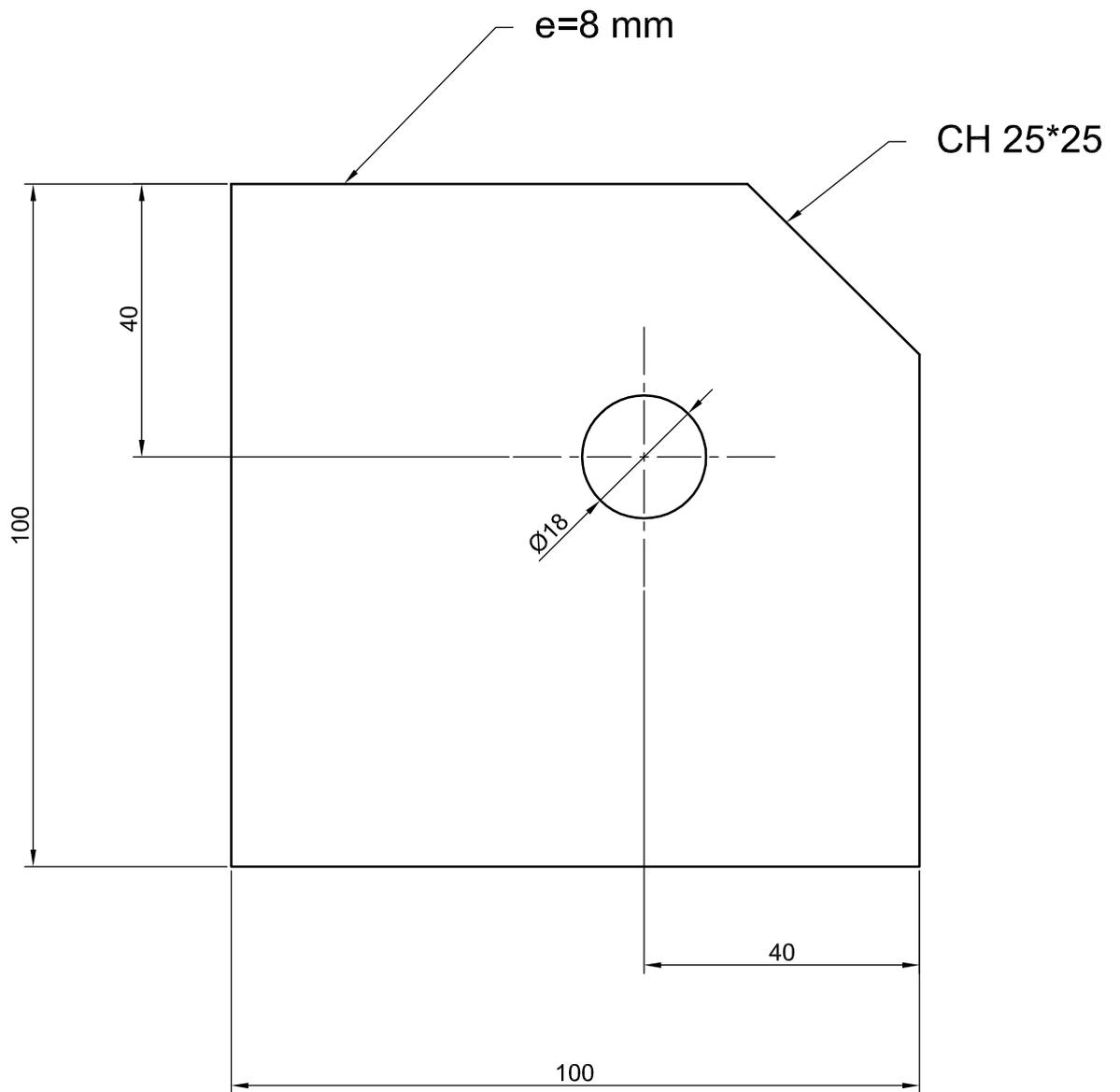


Plano:	Placas plegadas, unión correas # 160x80x6 mm	Nº plano:	5.6	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016

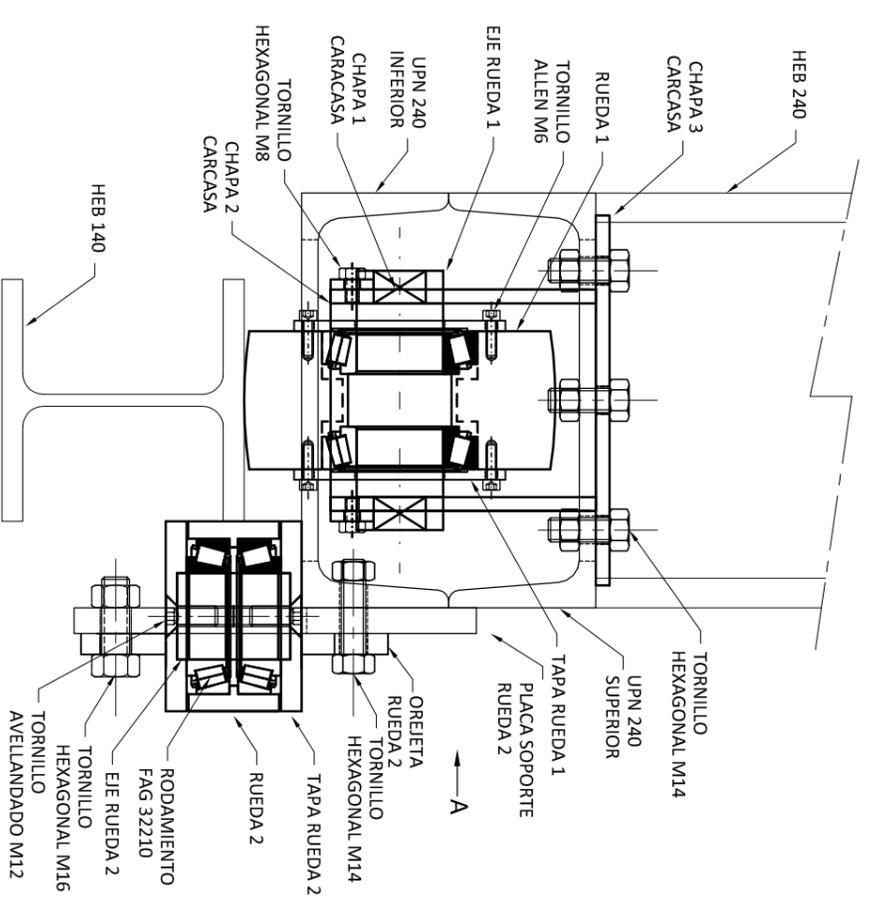
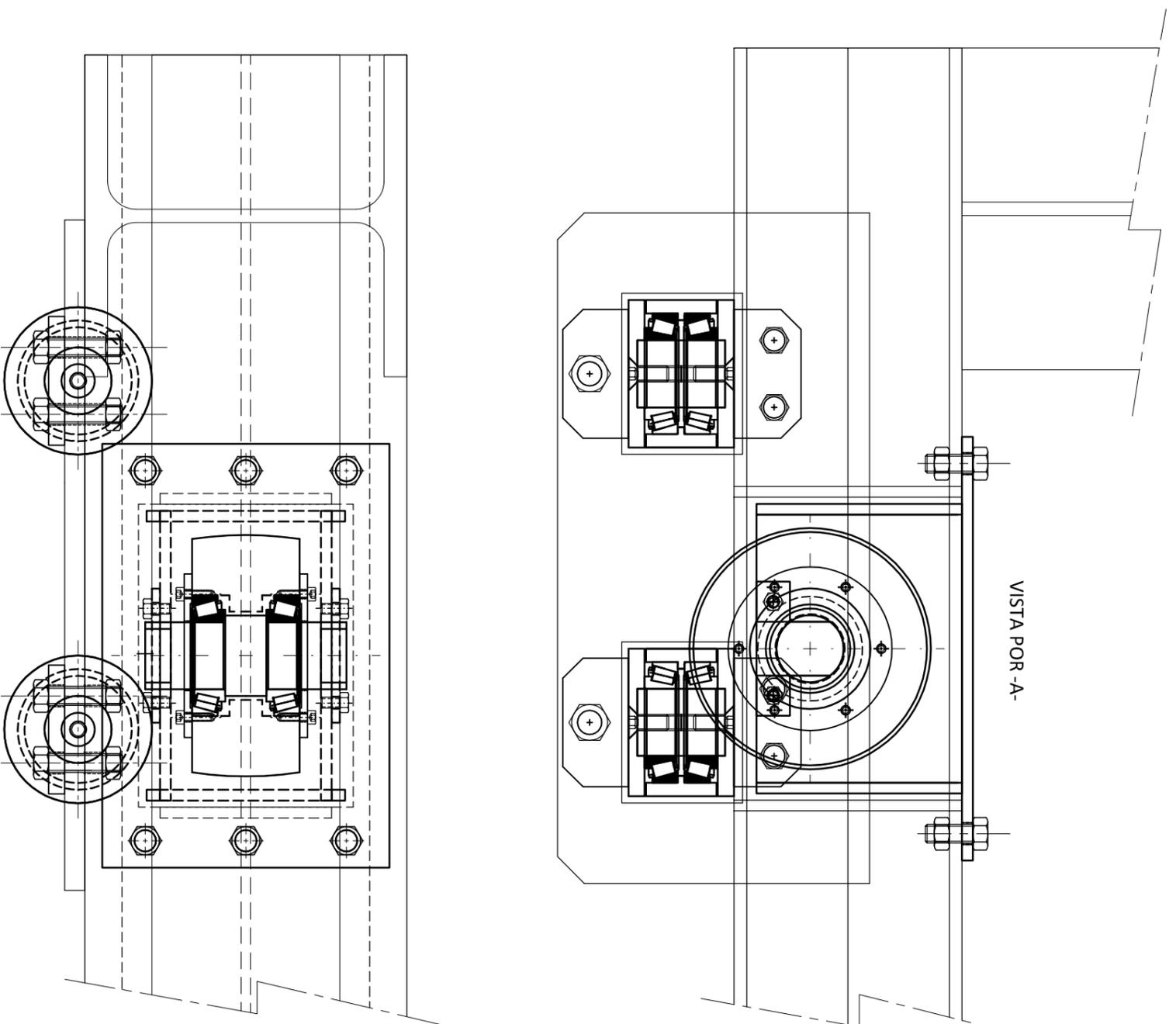
7



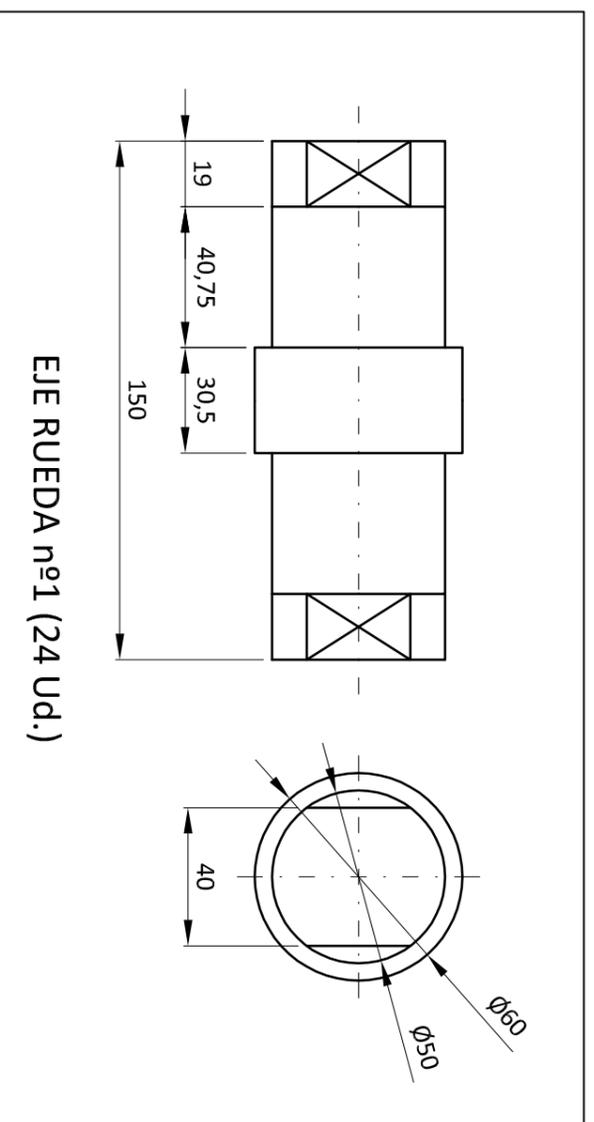
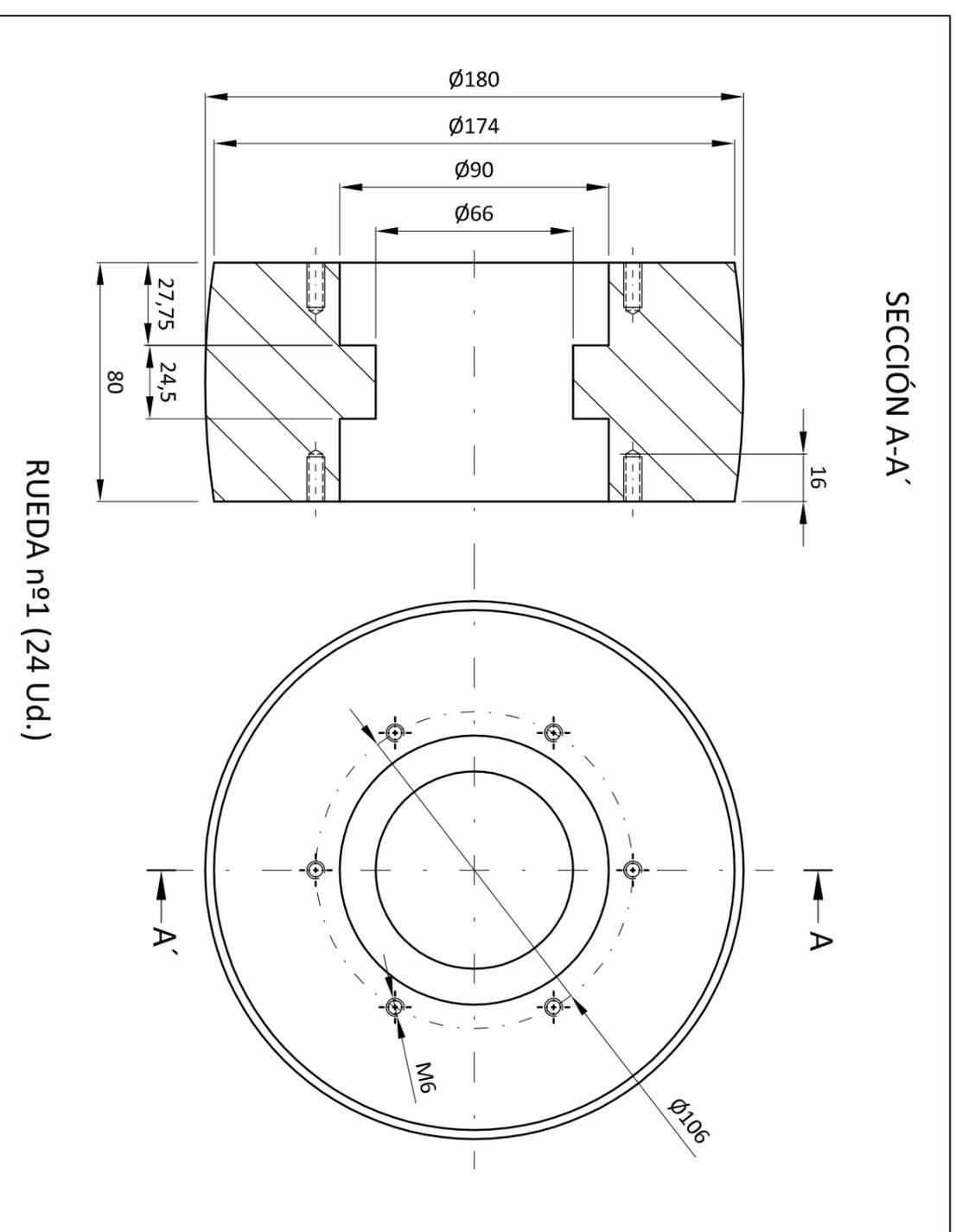
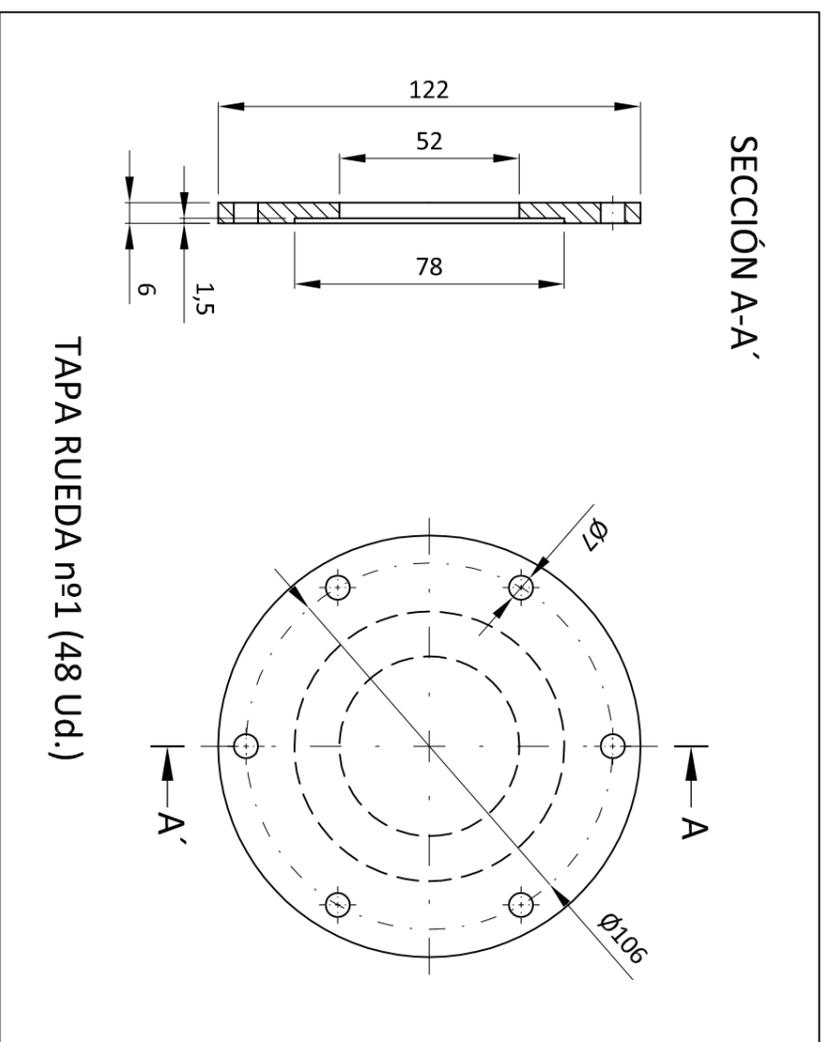
Plano:	Placa nº 7 unión correas	Nº plano:	5.7	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016



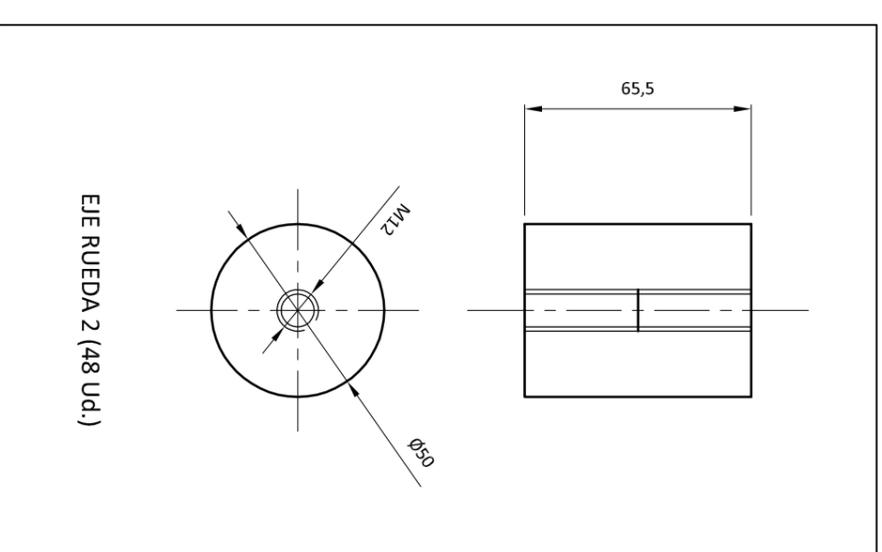
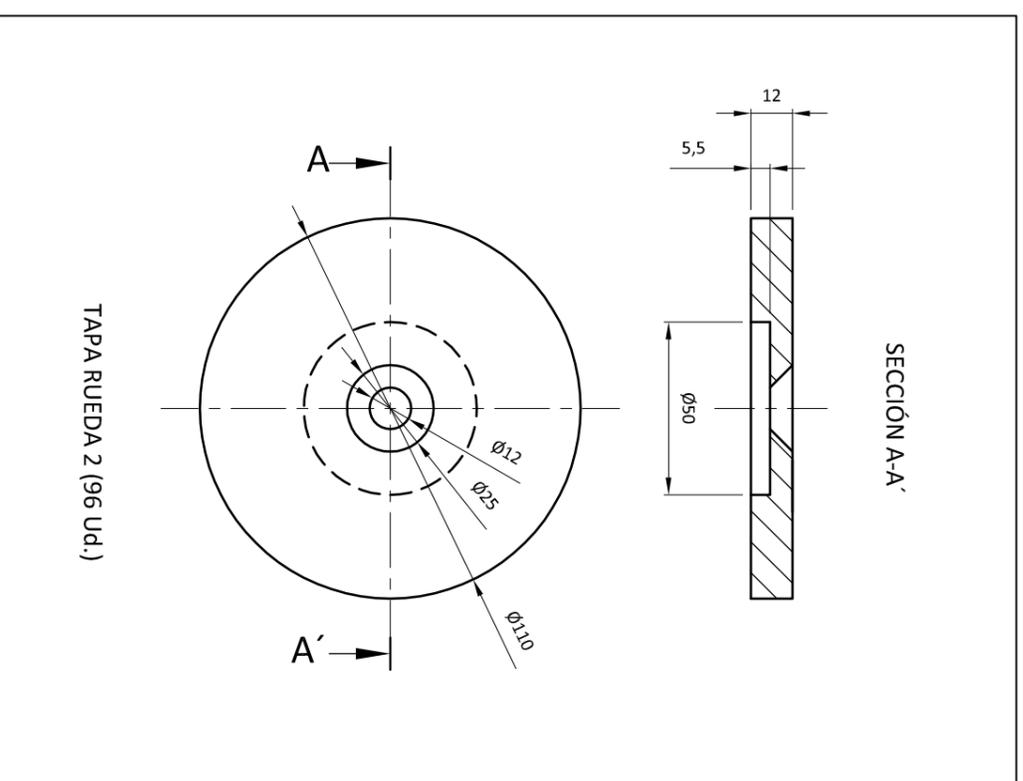
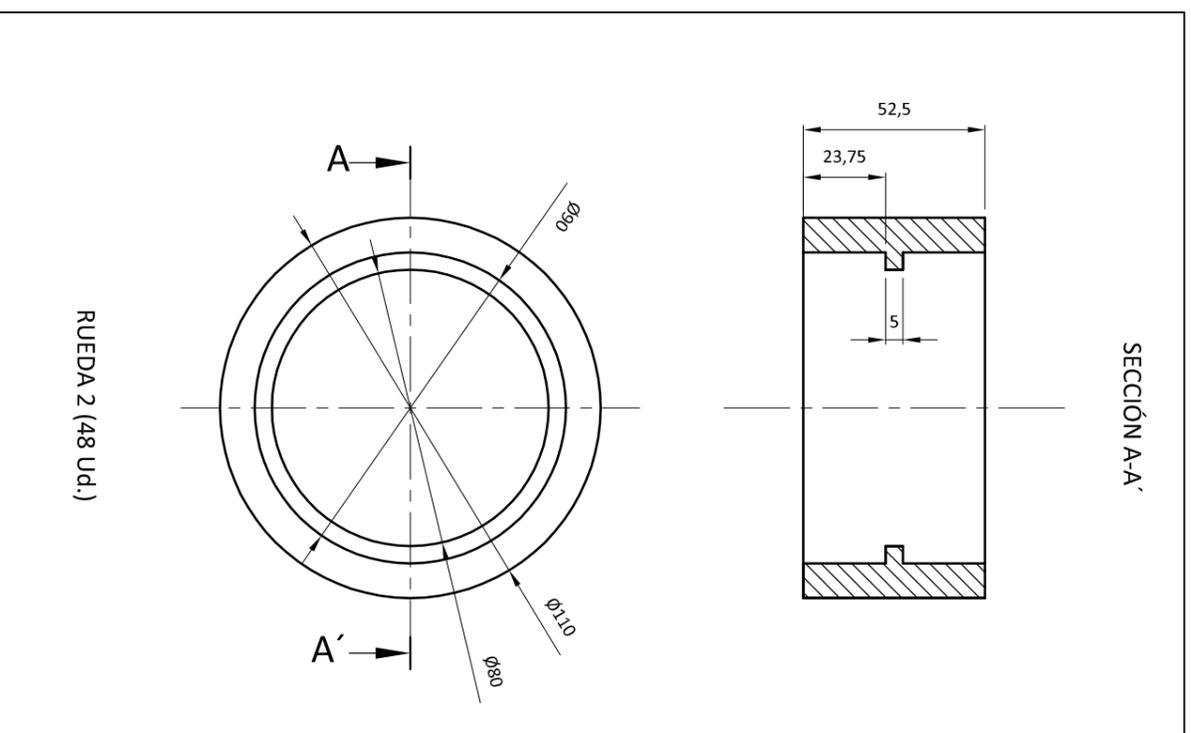
Plano:	Placa nº 8 unión tensores	Nº plano:	5.8	Escala:	1:1
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016



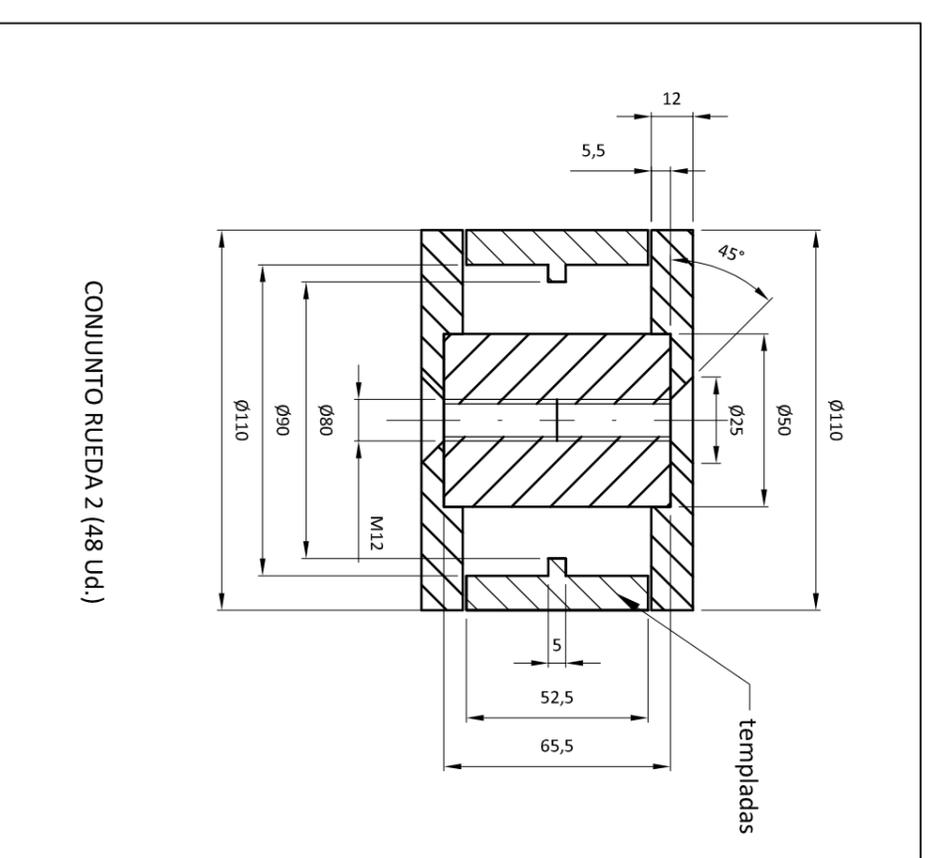
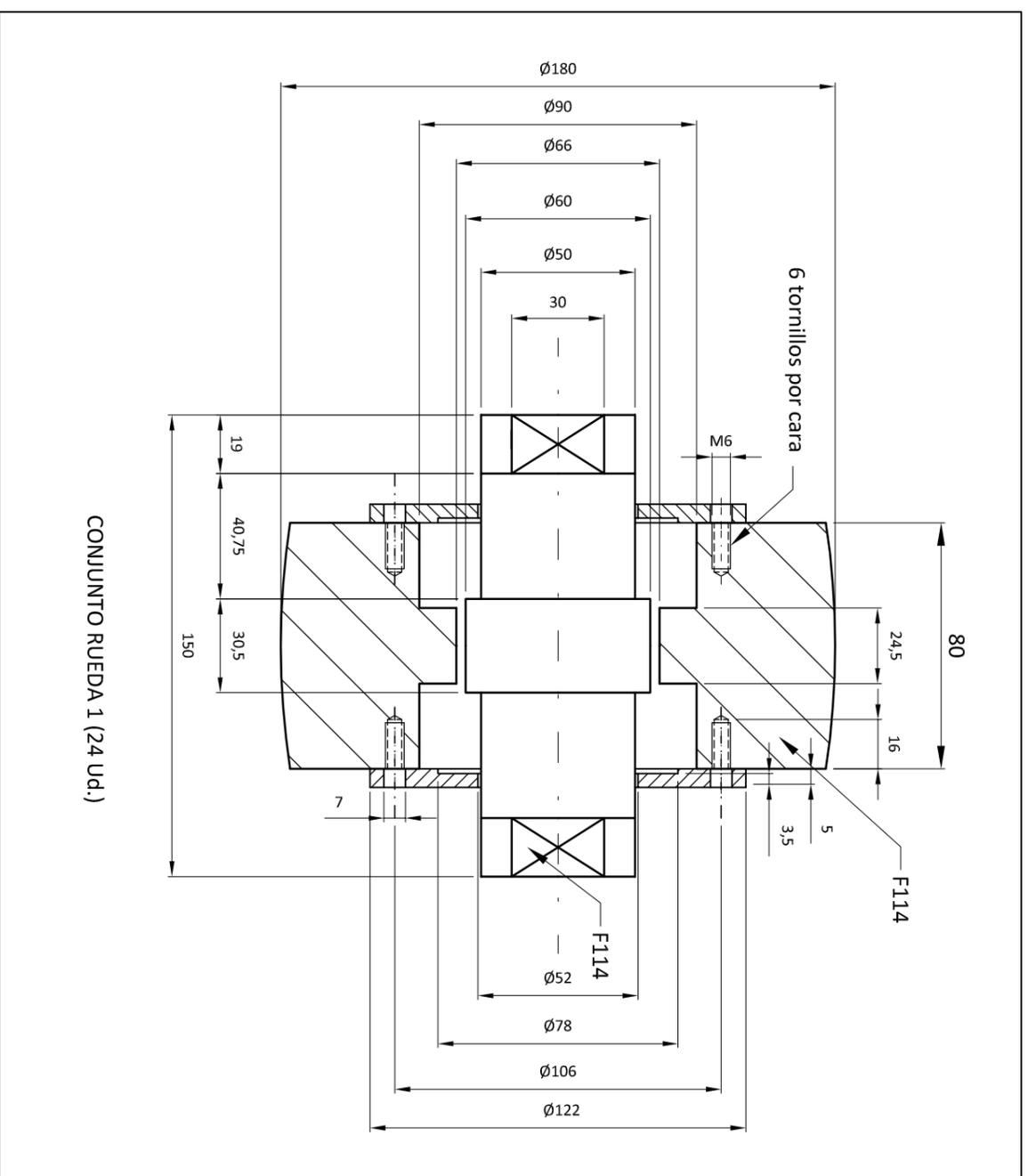
Plano:	Conjunto carro ruedas		Nº plano:	6	Escala:	1:4
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



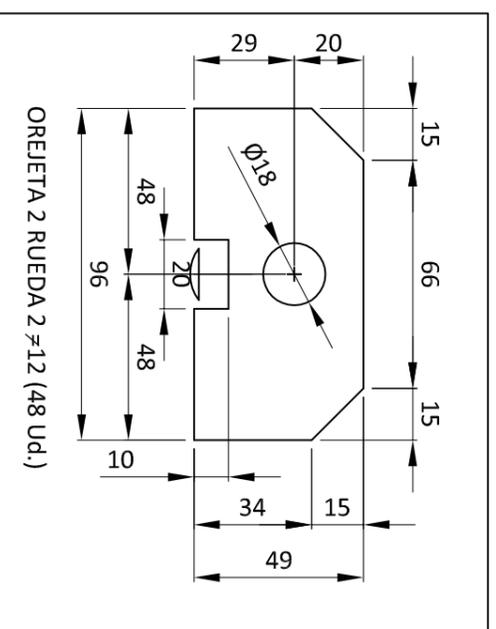
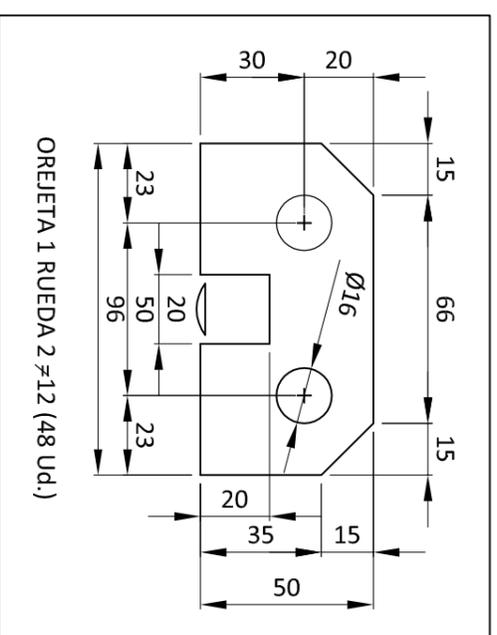
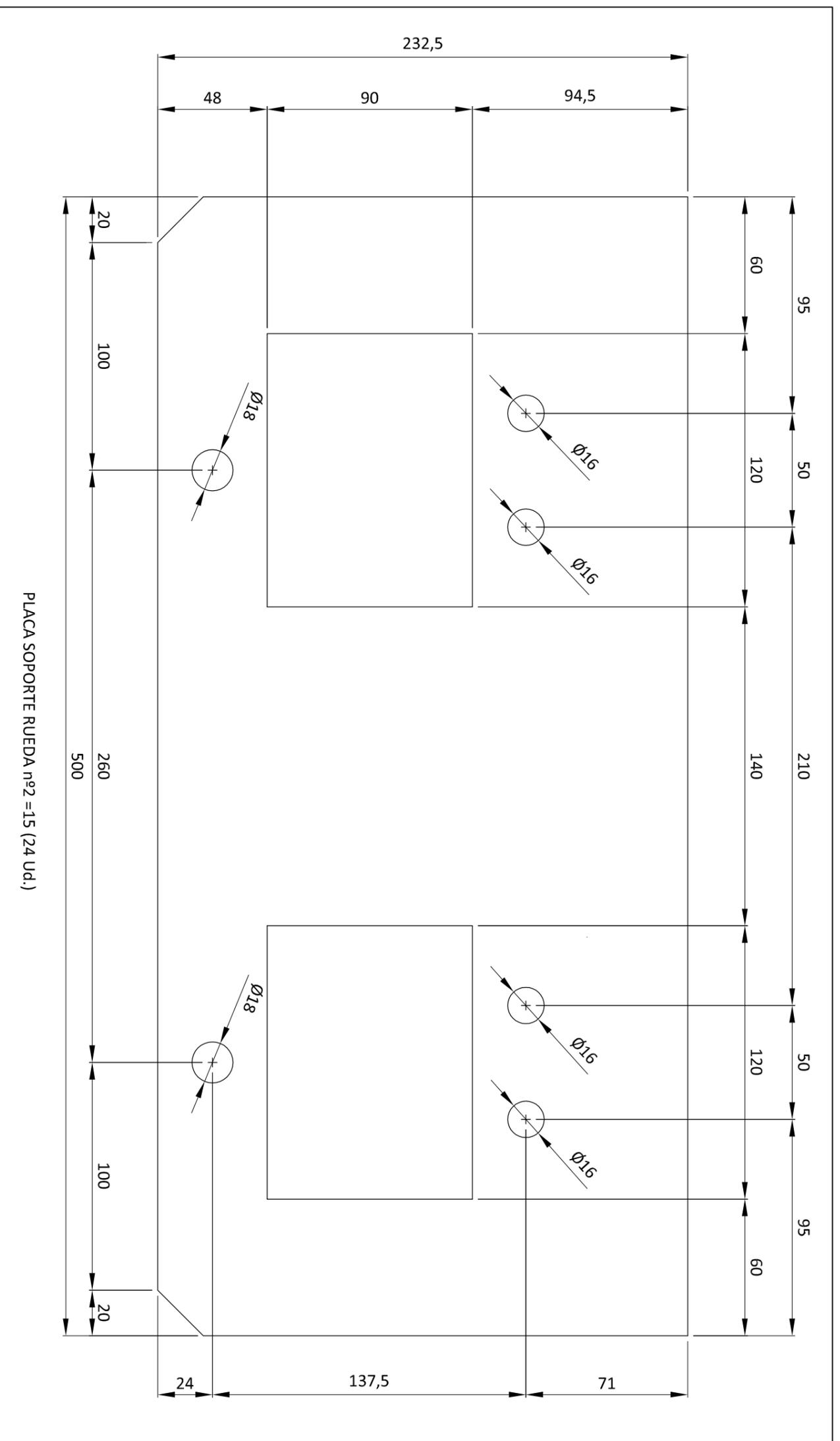
Plano:	Mecanizado rueda nº-1	Nº plano:	6.1	Escala:	1:2
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		



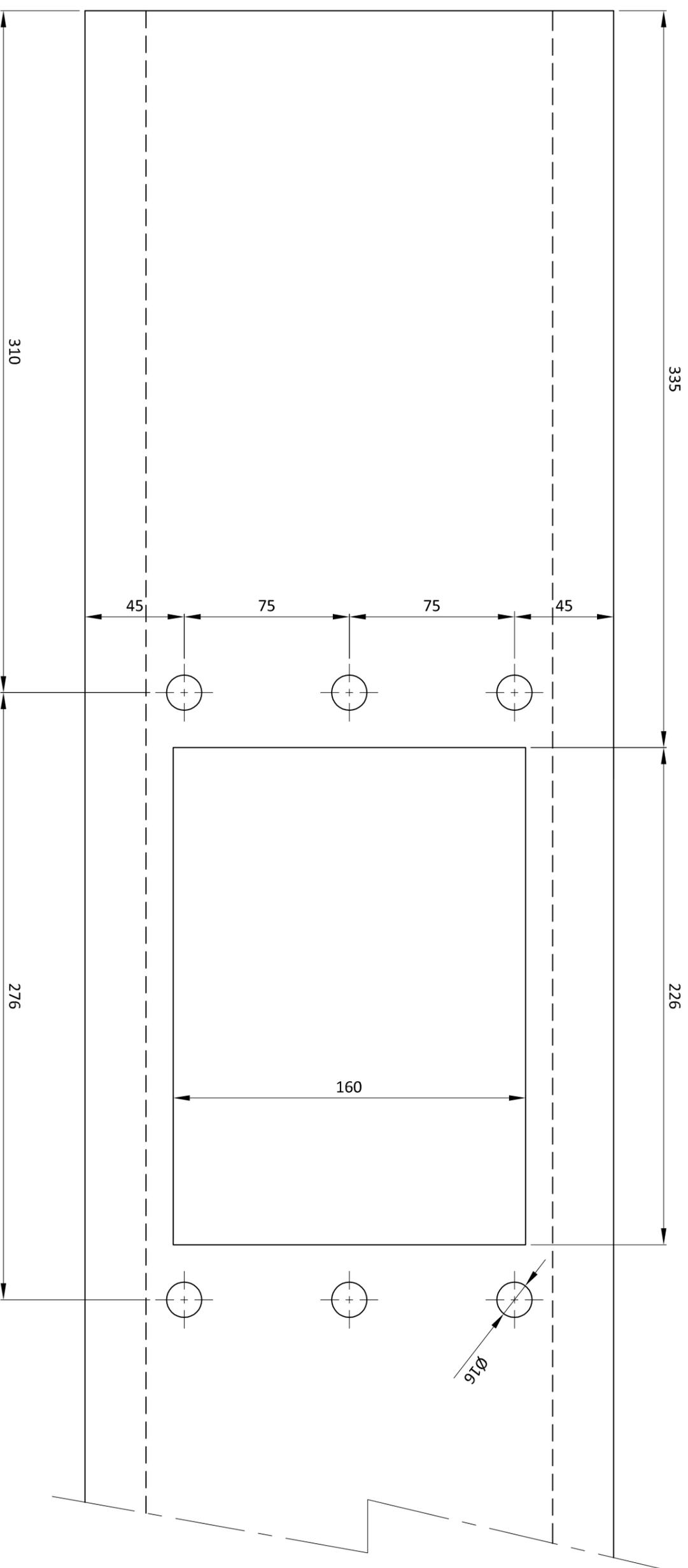
Plano:	Mecanizado rueda nº - 2	Nº plano:	6.2	Escala:	1:2
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		



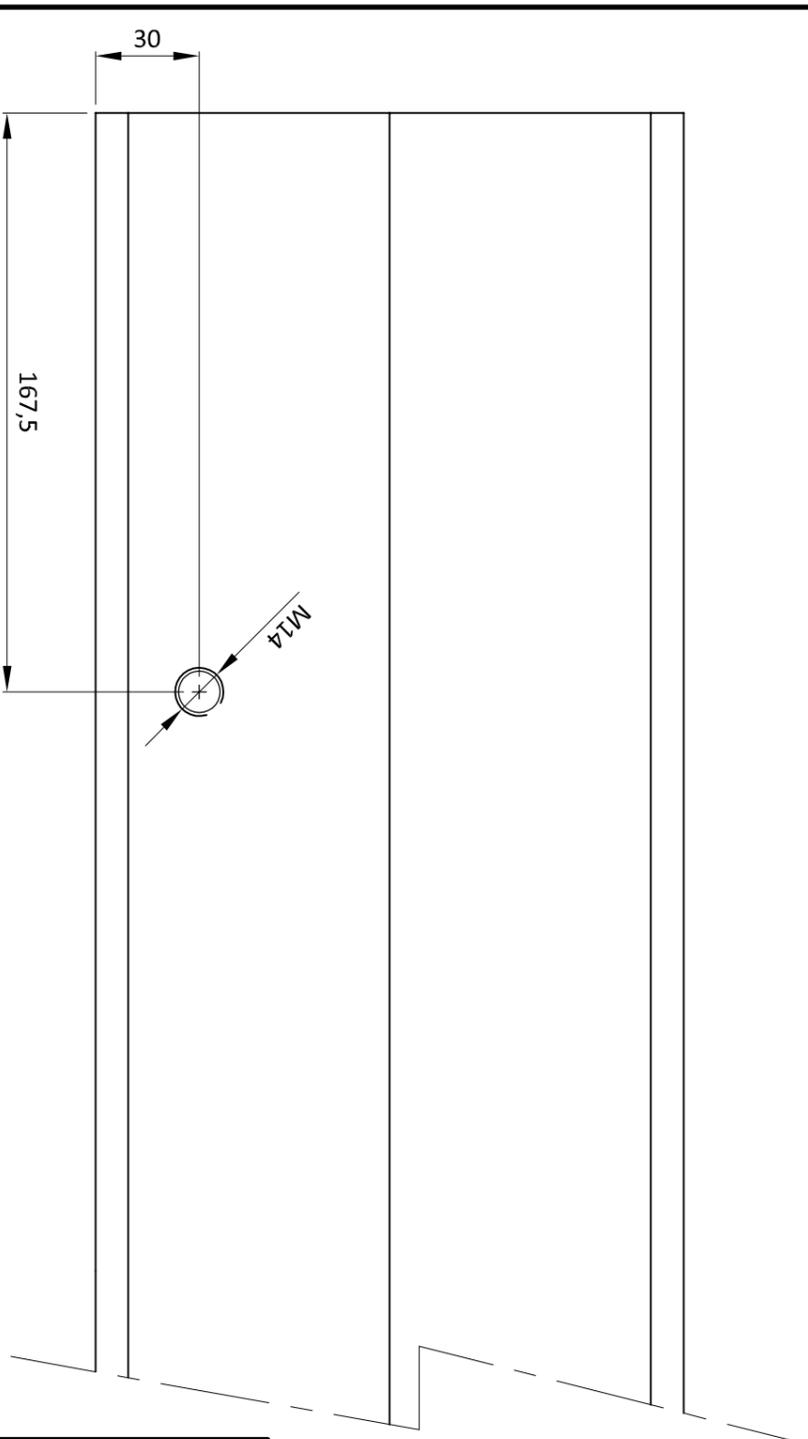
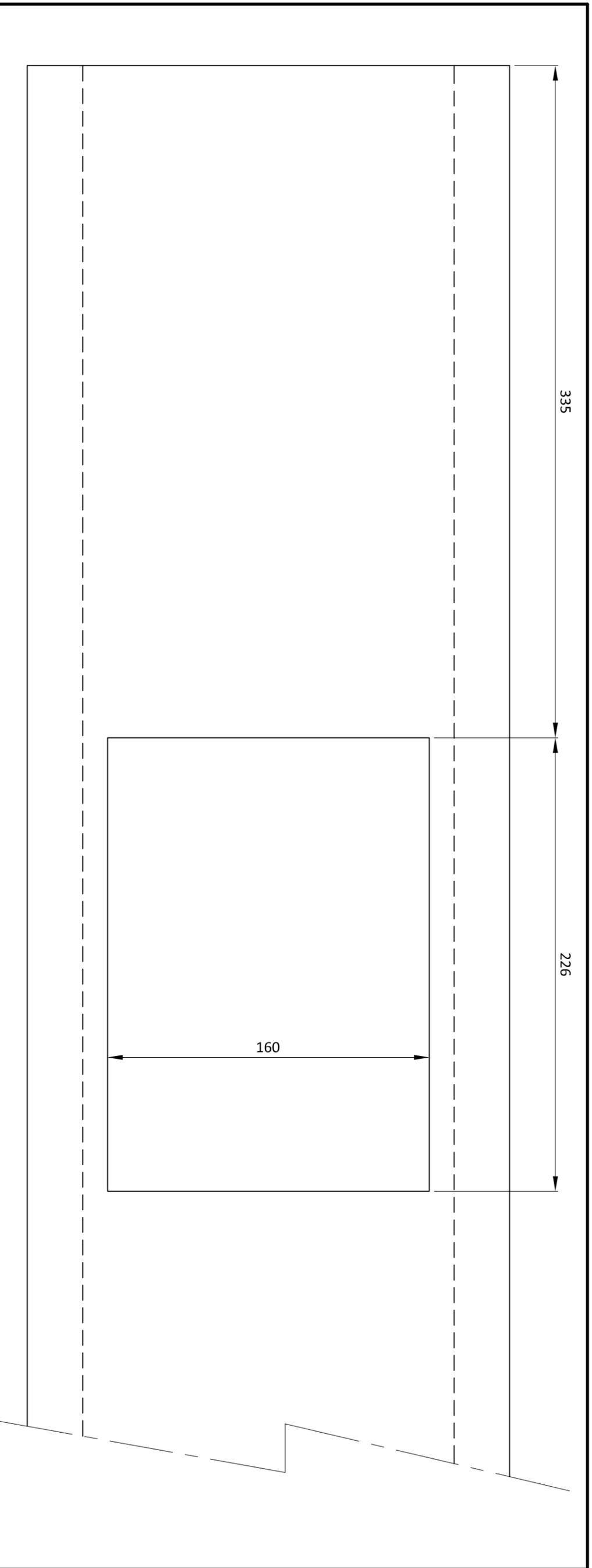
Plano:	Conjunto rueda nº - 1 y rueda nº - 2		Nº plano:	6.3	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		



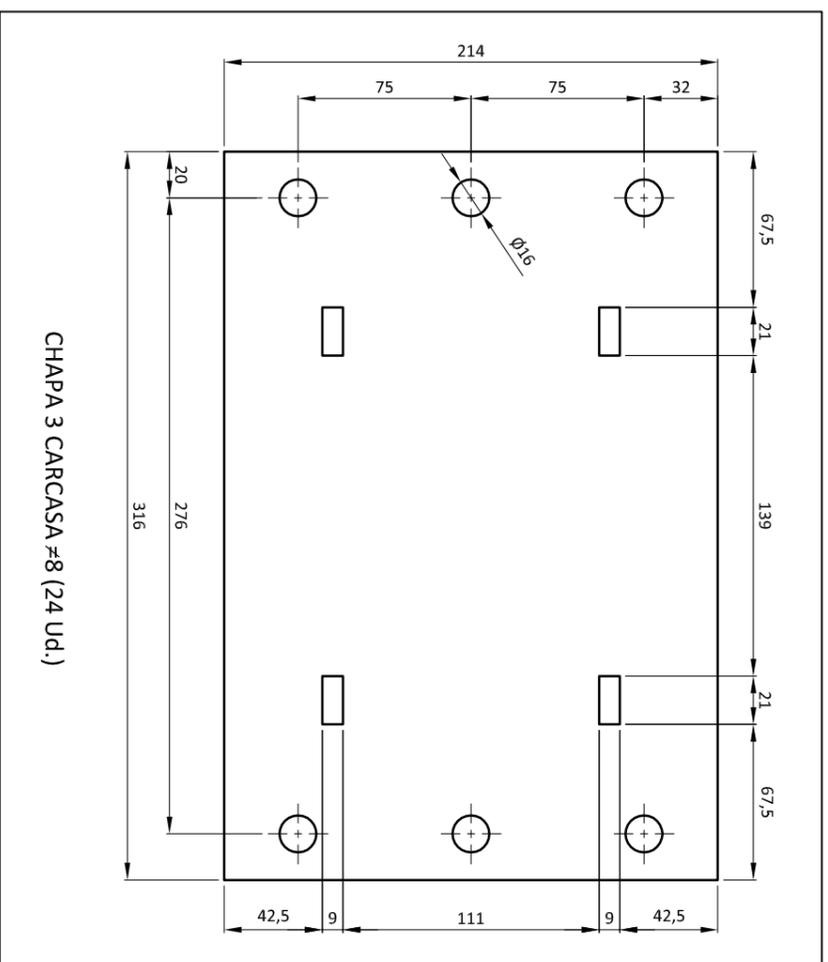
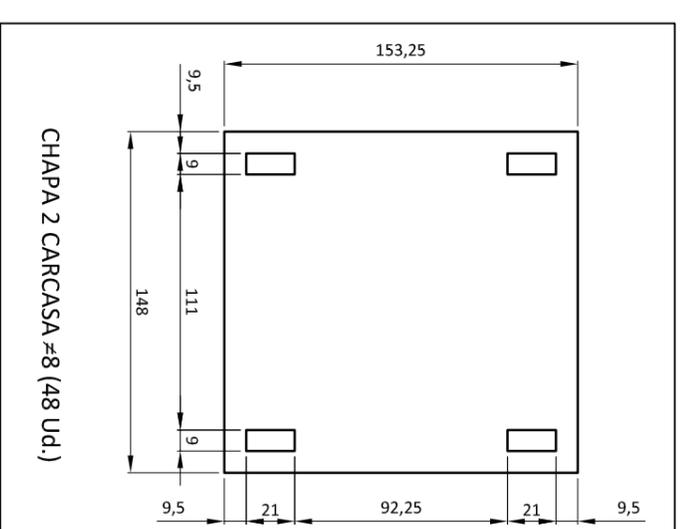
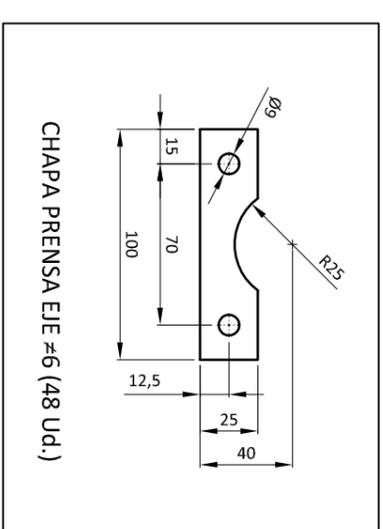
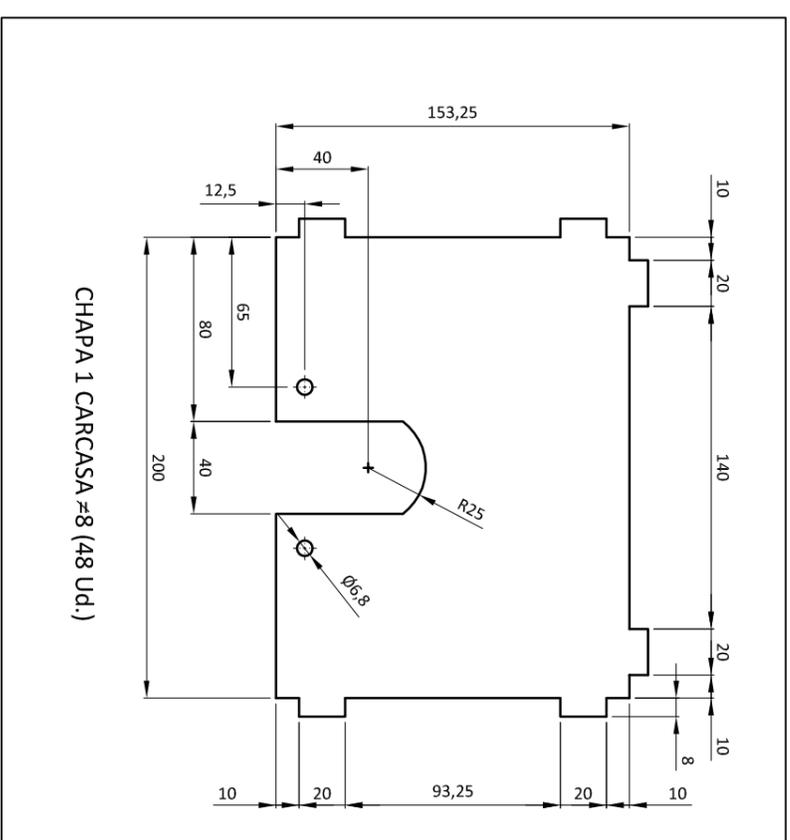
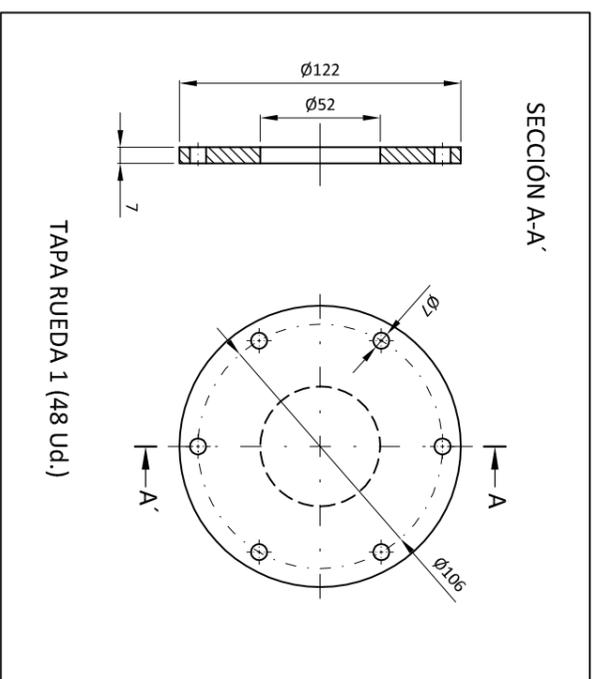
Plano:	Placa soporte y orejetas rueda nº - 2	Nº plano:	6.4	Escala:	1:1
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		



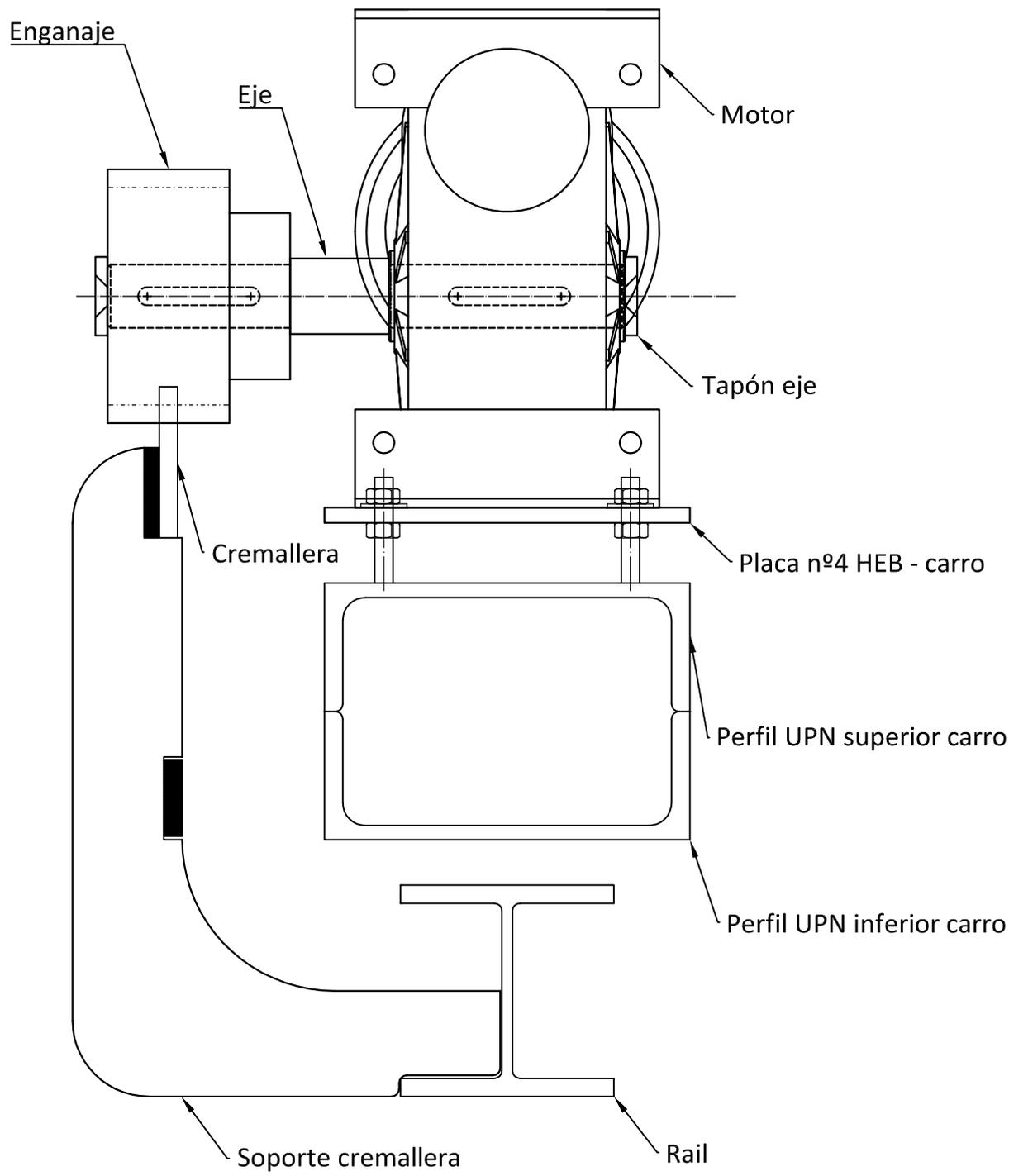
Plano:	Mecanizado UPN superior del carro	Nº plano:	6.5	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		



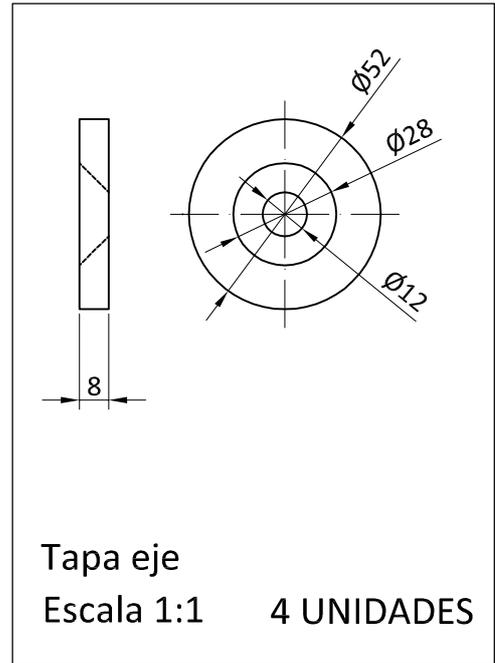
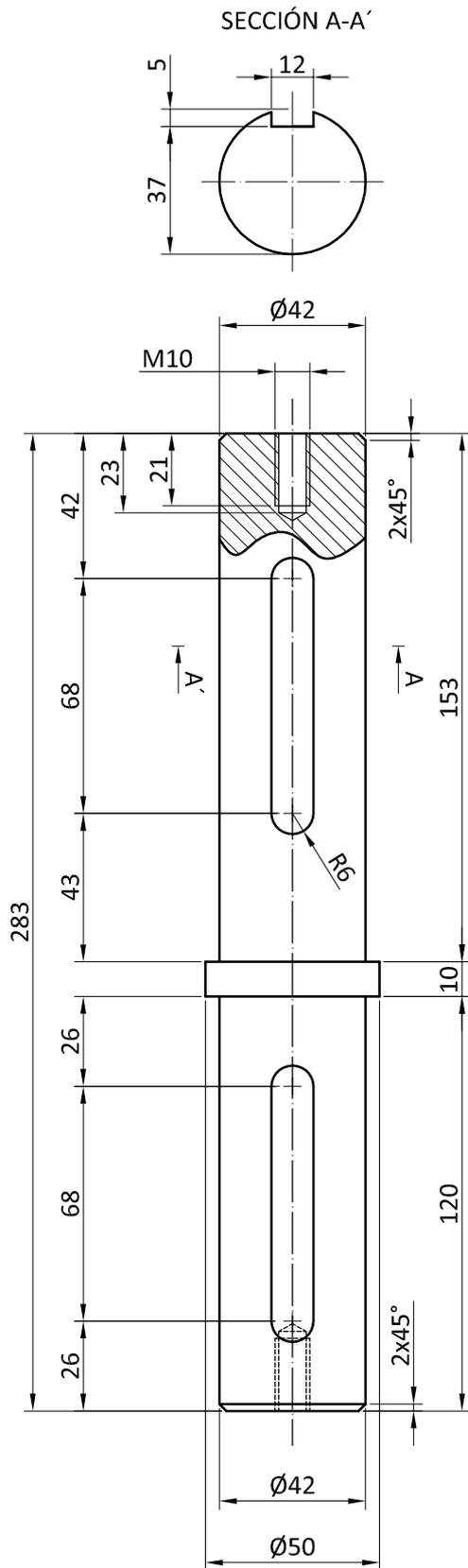
Plano:	Mecanizado UPN inferior del carro	Nº plano:	6.6	Escala:	1:2
Proyecto:	Calculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		



Plano:	Despiece soporte rueda nº - 1	Nº plano:	6-8	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		

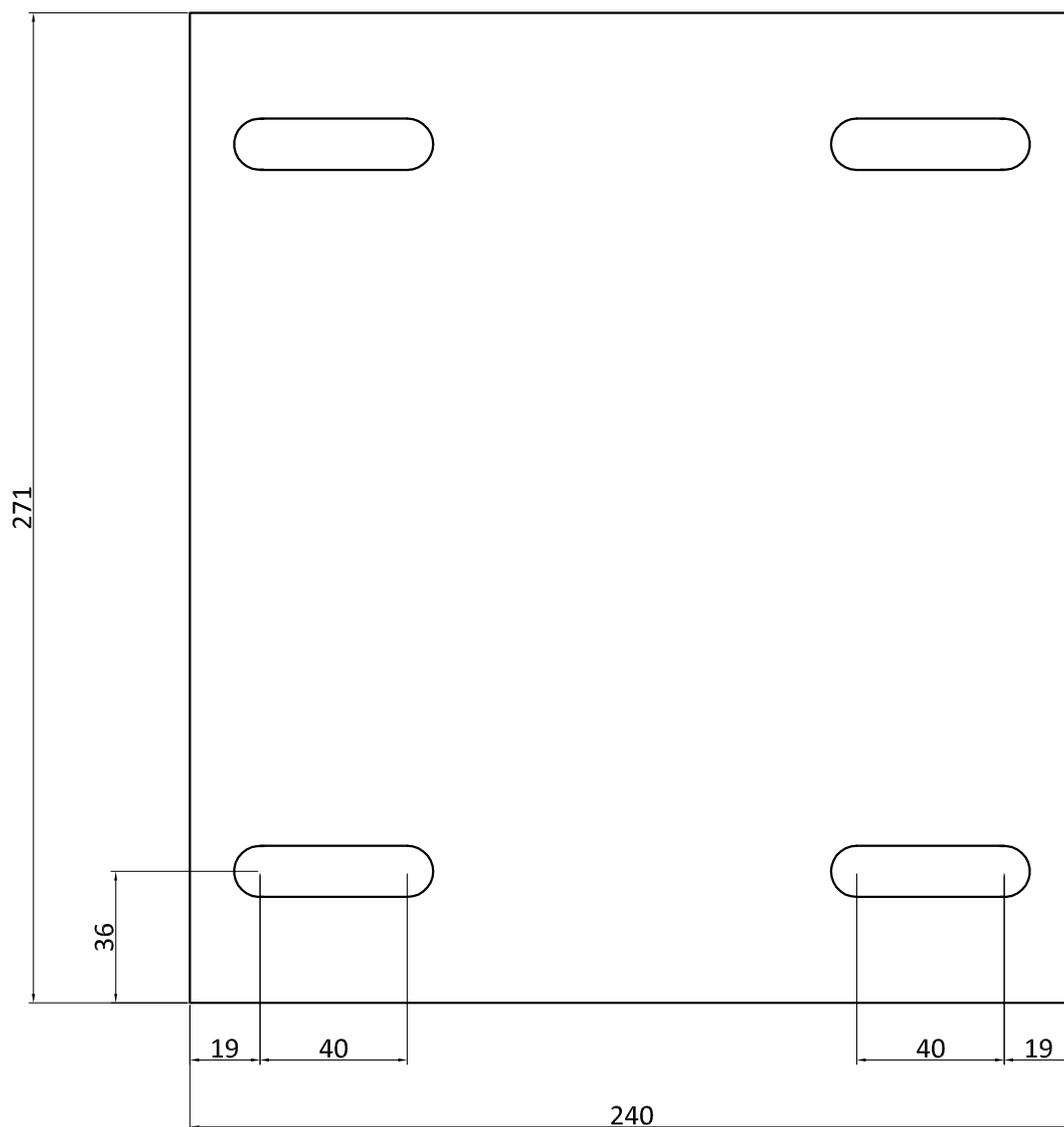


Plano:	Disposición motor engranajes	Nº plano:	7	Escala:	1:4
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016



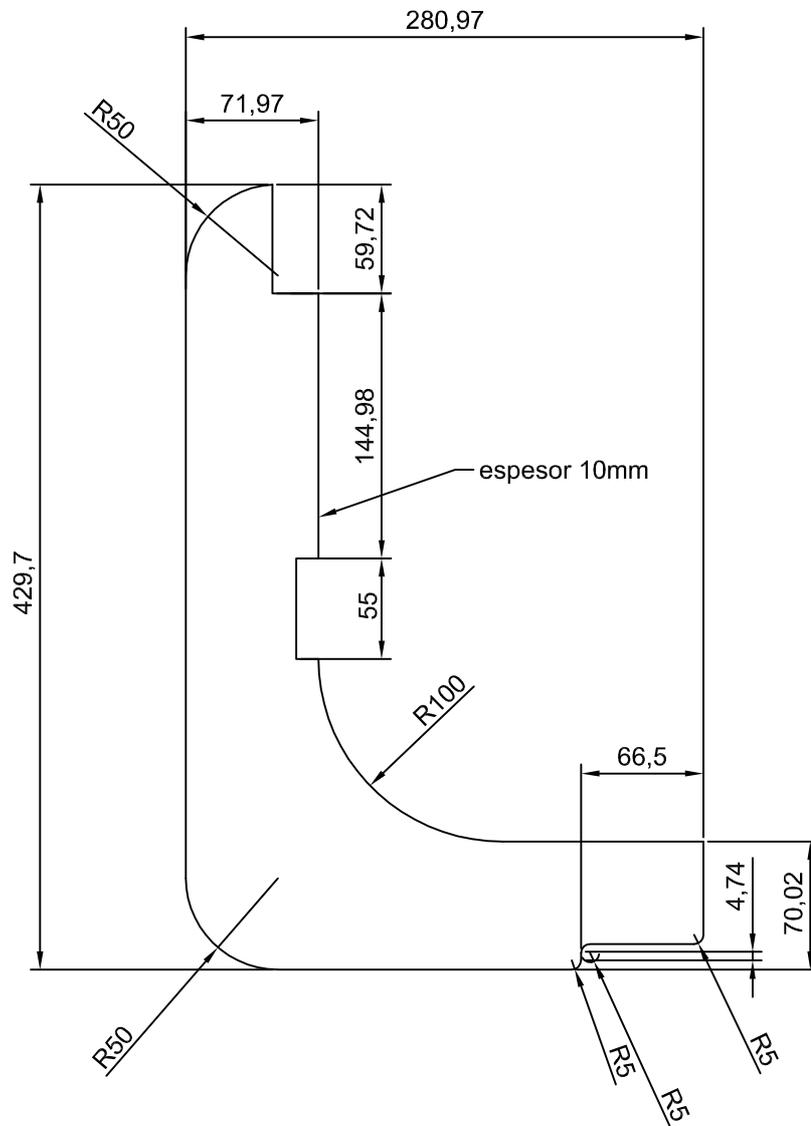
2 UNIDADES

Plano:	Eje transmisión , tapon eje	Nº plano:	7.2	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		



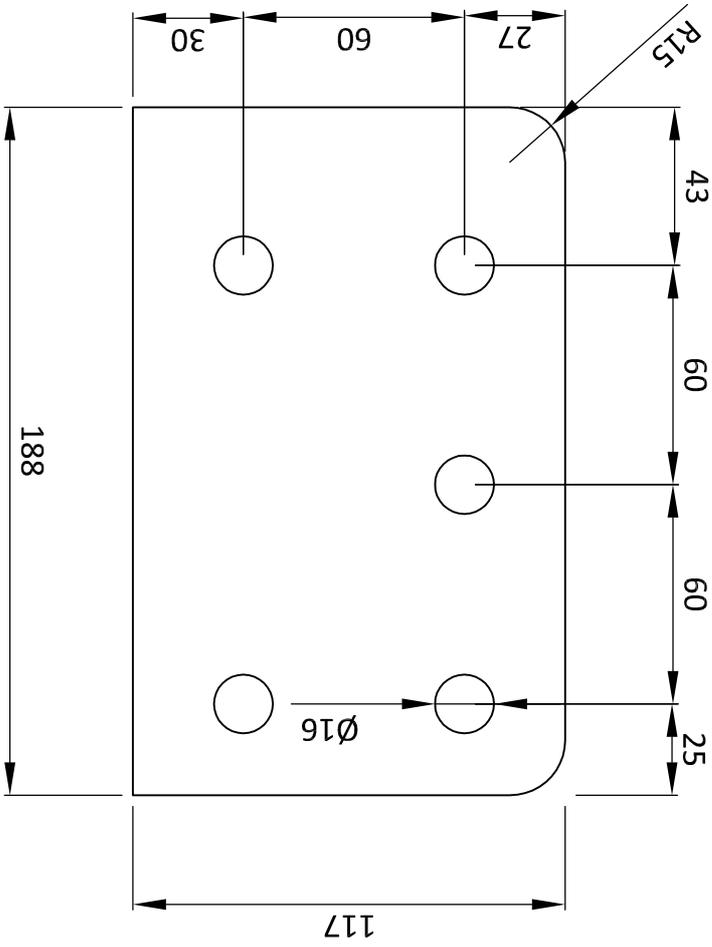
**2 UNIDADES
ESPESOR 10 mm**

Plano:	Placa anclaje motor	Nº plano:	7.3	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016



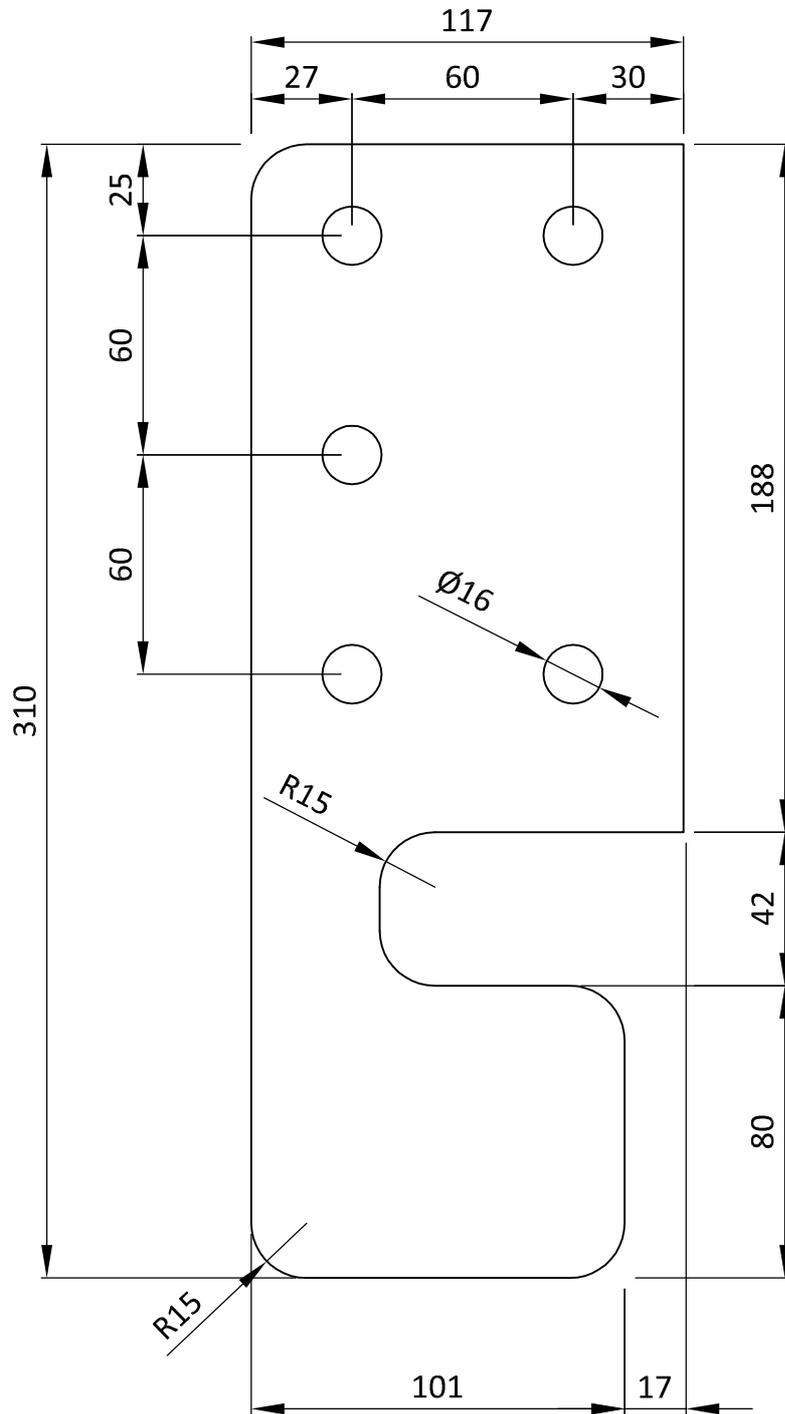
Plano:	Soporte cremallera	Nº plano:	7.4	Escala:	1:4
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016

Autor: Javier Martí Miralles		Fecha: noviembre 2016
Proyecto: Cálculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato: A4 Unidades: mm
Plano: Placa de arrastre nº 1		Nº plano: 8.1 Escala: 1:2



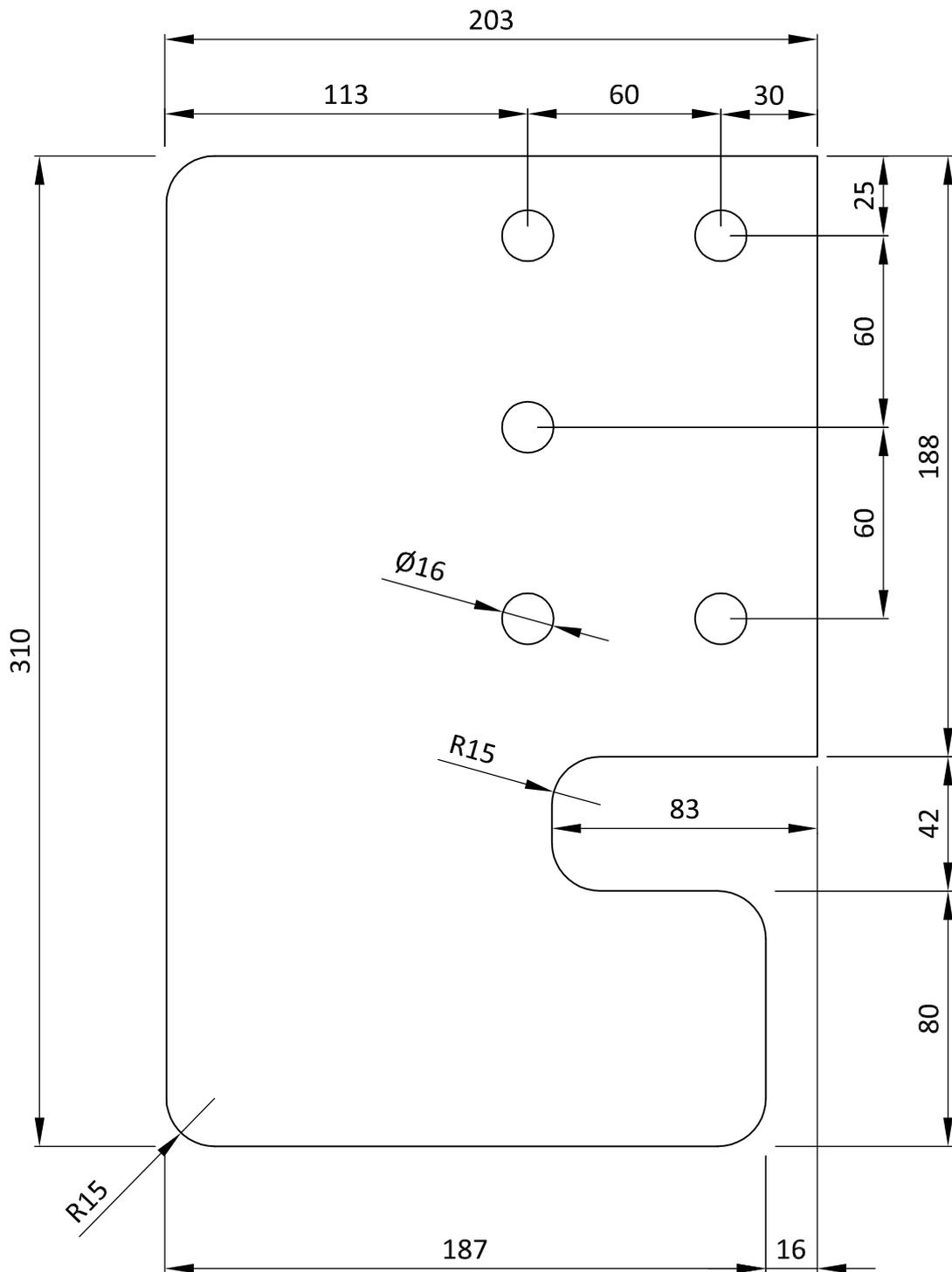
espesor = 15mm

espesor = 15mm



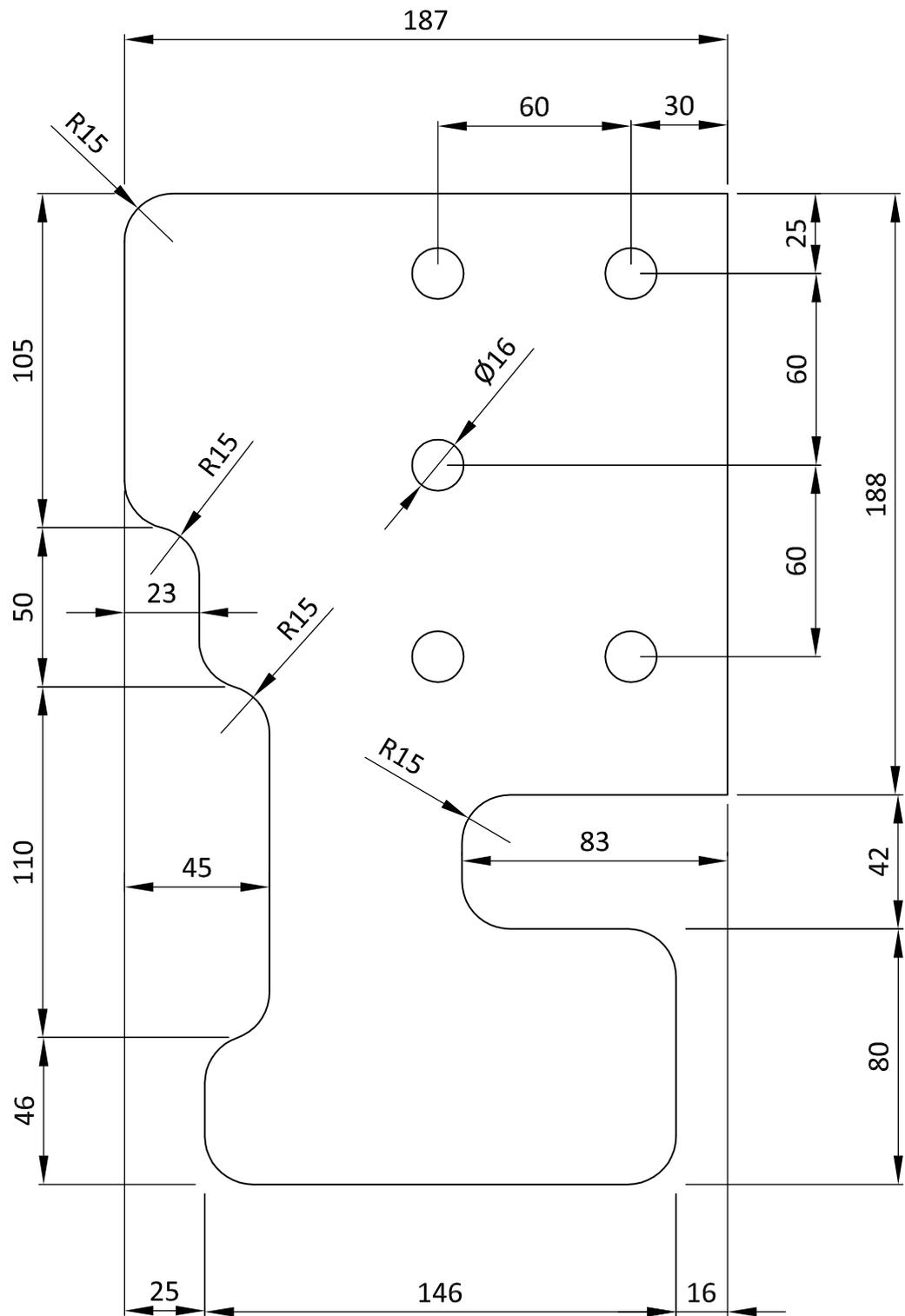
Plano:	Placa de arrastre nº 2	Nº plano:	8.2	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles			Fecha:	noviembre 2016

espesor = 15mm



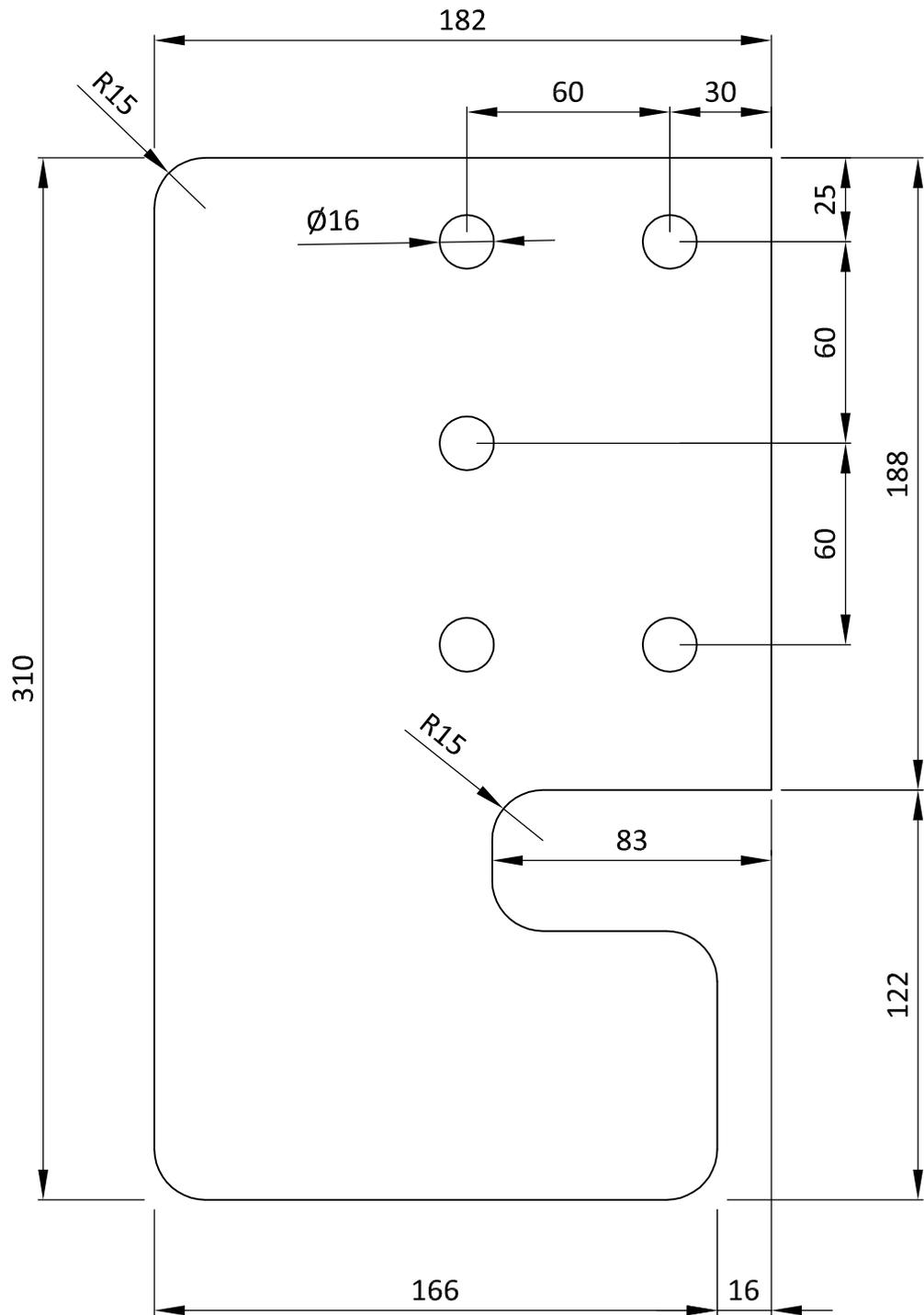
Plano:	Placa de arrastre nº 3	Nº plano:	8.3	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		

espesor = 15mm

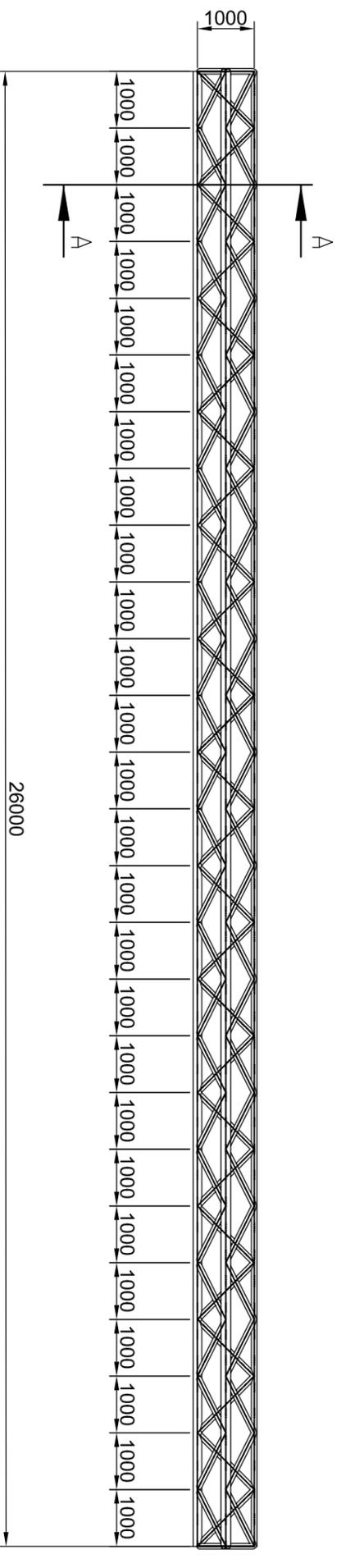
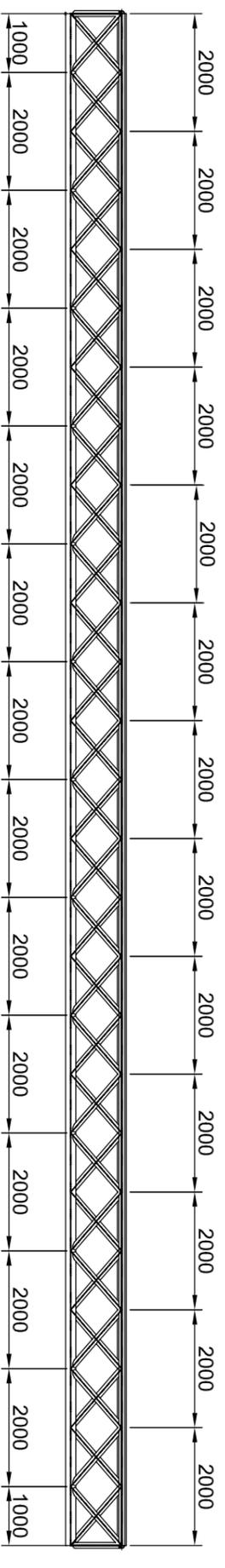


Plano:	Placa de arrastre nº 4	Nº plano:	8.4	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		

espesor = 15mm

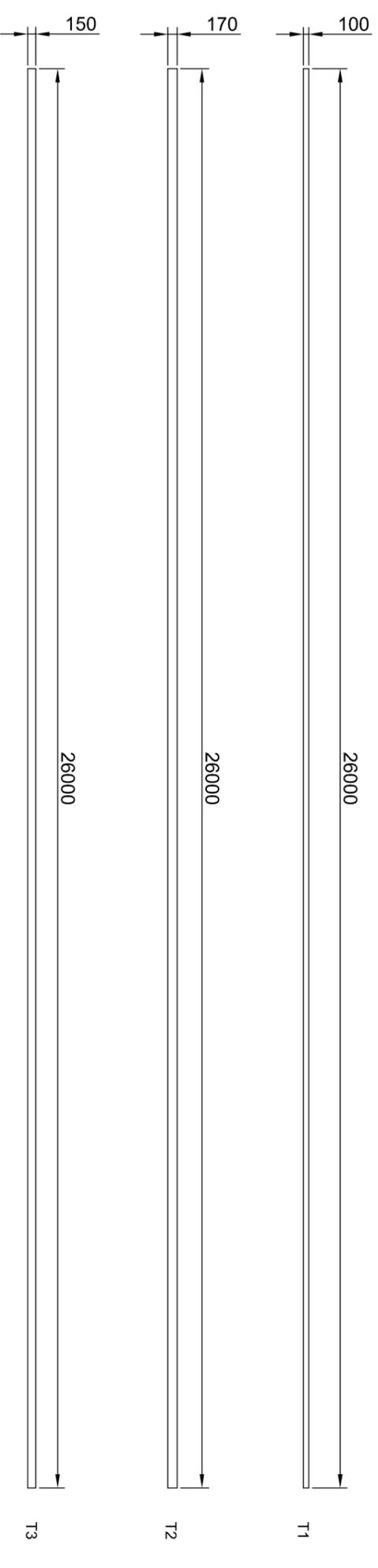
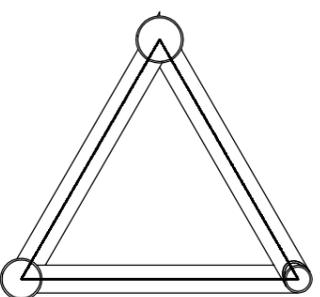


Plano:	Placa de arrastre nº 5	Nº plano:	8.5	Escala:	1:2
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil	Formato:	A4	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles	Fecha:	noviembre 2016		

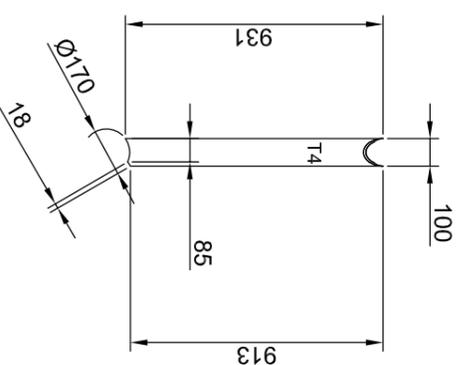
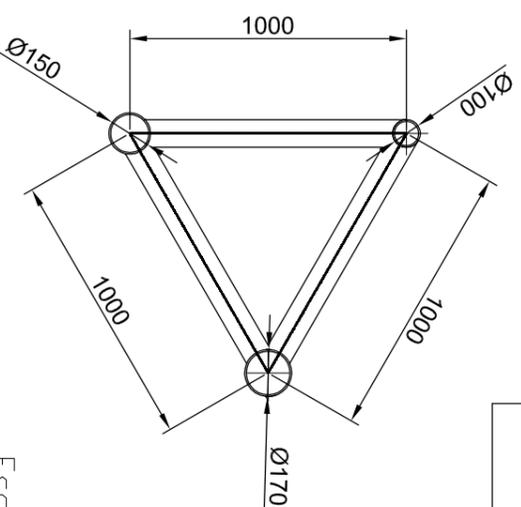


SECCIÓN A-A

SECCIÓN A-A



- T1 Diámetro 100mm, espesor 6mm, 1 ud.
- T2 Diámetro 170mm, espesor 6mm, 1 ud.
- T3 Diámetro 150mm, espesor 6mm, 1 ud.
- T4 Diámetro 100mm, espesor 6mm, 78 uds.



Escala 1:25

Plano:	Estructura tubular refuerzo módulo 1		Nº plano:	9	Escala:	1:100
Proyecto:	Cálculo y dimensionado de estructura retráctil		Formato:	A3	Unidades:	mm
Autor:	Javier Martí Miralles		Fecha:	noviembre 2016		