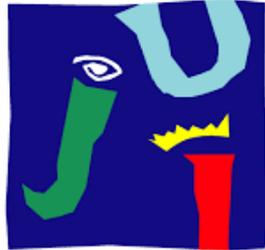


**UNIVERSITAT JAUME I**

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS



**UNIVERSITAT  
JAUME·I**

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS  
Y TEORIA DE ESTRUCTURAS

*GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES*

TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO Y CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA Y SU  
RESISTENCIA AL FUEGO EN CASO DE INCENDIO PARA LA  
AMPLIACIÓN DEL ALMACÉN GENERAL DE LA REFINERÍA  
DE CASTELLÓN EN BP OIL ESPAÑA***

**Autor:** Enrique Moliner Gaitán

**Tutor:** Jose Manuel Portolés Flaj

Castellón, Julio de 2016

# **ÍNDICE DE DOCUMENTOS**

**MEMORIA**

**ANEXOS**

**PLIEGO DE CONDICIONES**

**MEDICIONES Y PRESUPUESTO**

**PLANOS**

# Índice General

## MEMORIA

<b>1</b>	<b>Objeto</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Alcance</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Antecedentes</b> .....	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Normas y referencias</b> .....	<b>14</b>
4.1	Disposiciones legales y normas aplicadas.....	14
4.2	Programa de cálculo .....	14
4.2.1	Generador de pórticos .....	15
4.2.2	Cype 3D .....	15
<b>5</b>	<b>Consideraciones previas</b> .....	<b>16</b>
5.1	El acero y sus características .....	16
5.2	Conceptos sobre construcción industrial.....	17
5.2.1	Cimentación .....	17
5.2.2	Placas de anclaje .....	17
5.2.3	Pilares y vigas .....	18
5.2.4	Correas y arriostramientos .....	19
5.2.5	Tipologías estructurales .....	20
5.3	Bases de cálculo .....	21
5.3.1	Generalidades sobre el análisis estructural. ....	21
5.3.2	Verificaciones.....	22
<b>6</b>	<b>Caso de estudio</b> .....	<b>23</b>
6.1	Ubicación de la nave .....	23
6.2	Descripción de la nave .....	24
<b>7</b>	<b>Cálculo de la estructura metálica</b> .....	<b>26</b>
7.1	Acciones consideradas .....	26
7.1.1	Acciones permanentes .....	26
7.1.2	Acciones variables .....	26
7.2	Dimensionado de la estructura .....	31
7.2.1	Dimensionado de las correas de cubierta.....	31
7.2.2	Consideraciones a la hora de exportar a CYPE 3D .....	33
7.2.3	Refinado de la geometría de la nave .....	34
7.2.4	Descripción de los nudos .....	37
7.2.5	Descripción de las barras .....	37
7.2.6	Coeficientes de pandeo en las barras .....	40
7.2.7	Introducción de los límites de flecha .....	41
7.2.8	Optimización de la estructura .....	41

<b>8</b>	<b>Diseño final.....</b>	<b>43</b>
8.1	Pórtico interior.....	43
8.2	Pórtico de fachada .....	44
8.3	Arriostramientos y cubierta .....	44
8.4	Diseño de las placas de anclaje .....	46
8.5	Diseño de la cimentación .....	49
8.6	Vista 3D de la estructura .....	52
<b>9</b>	<b>Protección contra incendio .....</b>	<b>53</b>
9.1	Caracterización del establecimiento.....	53
9.2	Requisitos constructivos.....	56
9.3	Descripción de las instalaciones contra incendios .....	58
9.4	Resumen de las instalaciones .....	61
9.5	Resistencia al fuego de la estructura .....	62
<b>10</b>	<b>Presupuesto .....</b>	<b>64</b>
<b>11</b>	<b>Conclusiones y trabajos futuros.....</b>	<b>65</b>
<b>12</b>	<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>65</b>

## **ANEXO**

<b>1</b>	<b>Comprobaciones ELU de los elementos estructurales .....</b>	<b>68</b>
1.1	Correas de cubierta.....	68
1.2	Correas laterales .....	72
1.3	Pilar de las esquinas .....	76
1.4	Pilarillos hastiales.....	97
1.5	Pilar pórtico interior .....	115
1.6	Cordón celosía.....	136
1.7	Barra de relleno celosía .....	157
1.8	Tirante Cruz de San Andrés.....	172
1.9	Montante Cruz de San Andrés.....	176
<b>2</b>	<b>Comprobaciones de los anclajes.....</b>	<b>198</b>
2.1	Anclaje pilares esquina.....	198
2.2	Anclaje pilarillos hastiales .....	201
2.3	Anclaje pilares de los pórticos segundos.....	204
2.4	Anclaje pilares de los pórticos centrales .....	209
<b>3</b>	<b>Comprobaciones en las zapatas .....</b>	<b>213</b>
3.1	Zapata tipo A .....	213
3.2	Zapata tipo B .....	215
3.3	Zapata tipo C .....	217

# **PLIEGO DE CONDICIONES**

<b>1</b>	<b>Pliego de cláusulas administrativas.....</b>	<b>220</b>
1.1	Disposiciones de carácter general .....	220
1.1.1	Objeto del Pliego de Condiciones.....	220
1.1.2	Contrato de obra.....	220
1.1.3	Documentación del contrato de obra .....	220
1.1.4	Proyecto Arquitectónico.....	220
1.1.5	Reglamentación urbanística .....	221
1.1.6	Formalización del Contrato de Obra.....	221
1.1.7	Jurisdicción competente.....	221
1.1.8	Responsabilidad del Contratista.....	221
1.1.9	Accidentes de trabajo.....	222
1.1.10	Daños y perjuicios a terceros .....	222
1.1.11	Anuncios y carteles .....	222
1.1.12	Copia de documentos .....	222
1.1.13	Suministro de materiales.....	222
1.1.14	Hallazgos.....	222
1.1.15	Causas de rescisión del contrato de obra .....	223
1.1.16	Omisiones: Buena fe .....	223
1.2	Disposiciones relativas a trabajos, materiales y medios auxiliares.....	223
1.2.1	Accesos y vallados .....	224
1.2.2	Replanteo .....	224
1.2.3	Inicio de la obra y ritmo de ejecución de los trabajos.....	224
1.2.4	Orden de los trabajos .....	224
1.2.5	Facilidades para otros contratistas .....	225
1.2.6	Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor.....	225
1.2.7	Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones del proyecto.....	225
1.2.8	Prórroga por causa de fuerza mayor .....	225
1.2.9	Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra .....	226
1.2.10	Trabajos defectuosos.....	226
1.2.11	Vicios ocultos.....	226
1.2.12	Procedencia de materiales, aparatos y equipos .....	226
1.2.13	Presentación de muestras .....	227
1.2.14	Materiales, aparatos y equipos defectuosos .....	227
1.2.15	Gastos ocasionados por pruebas y ensayos.....	227
1.2.16	Limpieza de las obras.....	227
1.2.17	Obras sin prescripciones explícitas.....	227

<b>2 Disposiciones facultativas .....</b>	<b>228</b>
2.1 Definición, atribuciones y obligaciones de los agentes de la edificación .....	228
2.1.1 El Promotor .....	228
2.1.2 El Proyectista .....	228
2.1.3 El Constructor o Contratista.....	228
2.1.4 El Director de Obra.....	229
2.1.5 El Director de la Ejecución de la Obra .....	229
2.1.6 Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación .....	229
2.1.7 Los suministradores de productos.....	229
2.2 La dirección facultativa .....	229
2.3 Obligaciones de los agentes intervinientes.....	229
2.3.1 El Promotor .....	230
2.3.2 El Proyectista .....	230
2.3.3 El Constructor o Contratista.....	231
2.3.4 El Director de Obra.....	232
2.3.5 El Director de la Ejecución de la Obra .....	234
2.3.6 Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación .....	235
2.3.7 Los suministradores de productos.....	235
2.3.8 Los propietarios y los usuarios .....	236
<b>3 Disposiciones económicas sobre los precios .....</b>	<b>236</b>
3.1 Precio básico .....	236
3.2 Precio unitario .....	236
3.3 Presupuesto de Ejecución Material (PEM) .....	237
3.4 Precios contradictorios .....	237
3.5 Reclamación de aumento de precios .....	237
3.6 Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios .....	238
3.7 De la revisión de los precios contratados .....	238
3.8 Acopio de materiales.....	238
<b>4 Pliego de condiciones técnicas particulares .....</b>	<b>238</b>
4.1 Prescripciones sobre los materiales.....	238
4.1.1 Garantías de calidad (Marcado CE).....	239
4.1.2 Zapata de cimentación de hormigón armado .....	239
4.1.3 Placa de anclaje con pernos soldados y preparación de bordes .....	241
4.1.4 Acero en pilares .....	242
4.1.5 Acero en vigas.....	243
4.1.6 Acero en correas metálicas .....	245
4.1.7 Cubierta inclinada de paneles de acero con aislamiento.....	246
4.1.8 Fachada de panel sándwich.....	247
4.1.9 Pulsadores de alarma.....	248
4.1.10 Detectores .....	249
4.1.11 Extintores .....	250

4.1.12 Bocas de incendio equipadas .....	251
--	-----

## **MEDICIONES Y PRESUPUESTO**

<b>1 Estado de mediciones .....</b>	<b>254</b>
1.1 Acero laminado en caliente S275 .....	254
1.2 Acero conformado S235.....	255
1.3 Cubierta y cerramientos de fachada .....	255
1.4 Pintura intumescente .....	256
1.5 Zapatas de cimentación .....	256
<b>2 Presupuesto .....</b>	<b>257</b>
2.1 Cimentación y anclaje .....	257
2.2 Estructura metálica.....	258
2.3 Cerramientos .....	259
2.4 Protección contra incendios .....	260
2.5 Presupuesto total .....	261

## **PLANOS**

Plano de situación

Plano de secciones

Plano de estructura en 3D

Plano en planta de cimentaciones

Plano de despiece de las zapatas

Plano de despiece de las placas de anclaje

Plano de detección de incendios

Plano de extinción de incendios

# Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Pórtico con cercha.....	20
Ilustración 2: Pórtico de perfil variable. ....	20
Ilustración 3: Pórtico rígido. ....	21
Ilustración 4: Ubicación de la nave.....	23
Ilustración 5: Vista de la parcela. ....	23
Ilustración 6: Croquis del espacio existente.....	24
Ilustración 7: Valores básicos de la velocidad de viento por zonas. ....	28
Ilustración 8: Dimensiones en el generador de pórticos. ....	31
Ilustración 9: Perfil empleado en las correas ....	32
Ilustración 10: Edición de correas de cubierta y laterales.....	32
Ilustración 11: Consideraciones a la hora de exportar a CYPE 3D. ....	33
Ilustración 12: Geometría exportada desde el generador de pórticos. ....	34
Ilustración 13: Vista del pórtico tipo y dimensiones de la cercha.....	34
Ilustración 14: Estructura completa inicial. ....	35
Ilustración 15: Estructura completa como solución al problema de las CSA.....	36
Ilustración 16: Estructura completa definitiva. ....	36
Ilustración 17: Pórtico Interior. ....	43
Ilustración 18: Pórtico de fachada.....	44
Ilustración 19: CSA en la cubierta. ....	45
Ilustración 20: Arriostramiento lateral. ....	45
Ilustración 21: Vista del lateral de la nave. ....	45
Ilustración 22: Vista de la cubierta de la nave. ....	45
Ilustración 23: Anclaje pilares esquina. ....	47
Ilustración 24: Anclaje pilarillos hastiales. ....	47
Ilustración 25: Anclaje pilares pórticos segundos.....	48
Ilustración 26: Anclaje pilares pórticos centrales. ....	48
Ilustración 27: Vista general de las zapatas. ....	50
Ilustración 28: Despiece zapata tipo A.....	50
Ilustración 29: Despiece zapata tipo B.....	51
Ilustración 30: Despiece zapata tipo C.....	51
Ilustración 31: Vista 3D de la estructura. ....	52
Ilustración 32: Establecimiento tipo C.....	53
Ilustración 33: Pintura intumescente.....	63

# Índice de tablas

Tabla 1: Características mecánicas mínimas de los aceros .....	16
Tabla 2: Valores característicos de la sobrecarga de uso.....	27
Tabla 3: Grado de aspereza del entorno.....	28
Tabla 4: Valores característicos de la carga de nieve.....	30
Tabla 5: Longitud de pandeo de barras según CTE .....	40
Tabla 6: Características de placas de anclaje.....	46
Tabla 7: Tabla resumen con el criterio de fallo de cada elemento.....	52
Tabla 8: Carga de fuego total en MJ.....	55
Tabla 9: Carga de fuego del sector en MJ/m <sup>2</sup> .....	55
Tabla 10: Nivel de Riesgo Intrínseco.....	55
Tabla 11: Superficie máxima del sector.....	56
Tabla 12: Estabilidad al fuego de los elementos estructurales portantes.....	56
Tabla 13: Estabilidad al fuego de estructura principal en cubiertas ligeras.....	57
Tabla 14: Estabilidad al fuego de elementos constructivos delimitantes.....	57
Tabla 15: Eficacia de extintores en función del Riesgo Intrínseco.....	59
Tabla 16: Caracterización de las BIE en función del Riesgo Intrínseco.....	59
Tabla 17: Instalación de hidrantes en función del Riesgo Intrínseco y el tipo de establecimiento.....	60
Tabla 18: Resumen de la caracterización del establecimiento.....	61
Tabla 19: Resumen de los requisitos constructivos.....	61
Tabla 20: Resumen de las instalaciones contra incendio.....	61
Tabla 21: Propiedades de la pintura.....	63
Tabla 22: Resumen de mediciones de perfiles.....	254
Tabla 23: Medición de correas.....	255
Tabla 24: Medición de superficies a pintar.....	256



**MEMORIA**

### 1 Objeto

El objeto principal de este proyecto es el diseño y cálculo de la estructura metálica de la nave industrial que servirá como ampliación del almacén general de la refinería de Castellón.

La nave en cuestión se construirá adosada en su fachada oeste a otras dos naves ya existentes, que componen el almacén actual de BP, donde se almacena todo el material y los equipos necesarios para la ejecución de los trabajos en planta.

Como objetivo secundario del proyecto se ha propuesto la descripción de las instalaciones de protección contra incendio del conjunto de las tres naves, las dos existentes junto con la nueva, haciendo un mayor hincapié en la resistencia al fuego de la estructura.

### 2 Alcance

El alcance de dicho proyecto consta del cálculo de la estructura metálica de la nueva nave, dimensionando todos sus elementos, así como las zapatas de cimentación. Como se ha comentado en el punto anterior, también se realizará una memoria descriptiva de las instalaciones contra incendio profundizando en la resistencia de la estructura contra el fuego.

El procedimiento seguido para la consecución de todos los objetivos propuestos es el siguiente:

- Estudio de las diferentes tipologías de las naves industriales construidas con acero, así como del procedimiento teórico seguido para el cálculo estructural.
- Estudio de las normativas aplicadas a la nave en cuestión.
- Estudio del funcionamiento de los módulos del programa CYPE necesarios para el cálculo de la nave.
- Definición de la tipología elegida de la nave, así como de las dimensiones de cada pórtico, número de vanos, tipo de cubierta, cerramientos, y valores característicos de las acciones a aplicar según la normativa vigente.
- Dimensionado de correas, pilares, vigas, arriostramientos, y todos los elementos pertenecientes a la estructura.
- Dimensionado de las zapatas de cimentación.
- Descripción de las instalaciones necesarias contra incendio en función de las normativas vigentes.
- Comparativa de los diferentes sistemas de protección de la estructura contra el fuego.
- Mediciones de todo el material necesario para la ejecución y presupuesto del mismo.

### 3 Antecedentes

Durante los últimos años, la Refinería de BP en Castellón ha realizado diversas ampliaciones de unidades, lo que ha provocado la necesidad de realización de más trabajos de mantenimiento, proceso, mejora, etc.

Cada uno de estos trabajos, por pequeños que sean, llevan asociados una serie de compras de materiales necesarios para la ejecución del mismo. Cada compra que se realiza se le asigna un número informático y lleva un procedimiento a la hora de recibir el material en cuanto a descarga, inspección, almacenaje, etc. Esto se hace ya que la seguridad es imperativa en una industria de refino de petróleo como lo es esta. Cada material ha de llevar una serie de permisos y certificados de calidad exigidos para poder realizar su instalación dentro de planta.

Estos materiales de los que se habla, constan normalmente de tubería y sus accesorios (válvulas, codos, te, etc.); equipos de instrumentación y medida; material eléctrico; y equipos rotativos.

En la actualidad, hay dos naves adosadas que realizan la función de “Almacén General”, donde se realizan todos los procedimientos comentados, y se almacenan los productos el tiempo necesario hasta la ejecución del proyecto al que pertenecen. Estas dos naves están formadas por una estructura metálica con una cimentación de zapatas de hormigón para cada pilar. El espacio por dentro es prácticamente diáfano ya que sólo se encuentran como obstáculos los pilares intermedios. El material se encuentra distribuido en estanterías metálicas donde se clasifica en función del pedido informático y el orden de llegada.

Como consecuencia de las ampliaciones y el aumento de trabajos comentado al principio del apartado, es necesaria una ampliación de este almacén general, ya que la cantidad de pedidos realizados es cada vez mayor y el espacio existente se está quedando pequeño.

De esta necesidad es donde surge el presente proyecto en el que se realizará el cálculo y dimensionado de la nueva estructura así como una descripción de las instalaciones contra incendio del conjunto de las naves, la nueva más las existentes, puesto que el espacio será diáfano y constará como un único sector de incendio.

## 4 Normas y referencias

### 4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

La normativa que se ha tenido en cuenta para el cálculo estructural y de cimentaciones es la siguiente:

- **CTE-DB-SE: Seguridad estructural.** En este documento se establecen los principios de *Resistencia y estabilidad*, y la *Aptitud al servicio*, que consiste en asegurar que el edificio tiene un comportamiento estructural adecuado frente a las acciones previsibles a las que pueda estar sometido durante su construcción y uso.
- **CTE-DB-AE: Acciones en la edificación.** Este requisito se hace necesario para determinar las acciones que actuarán sobre la edificación, como pueden ser nieve, viento o peso propio.
- **CTE-DB-C: Cimentación.** La cimentación compone aquellos elementos que soportan las cargas de las acciones y deben dimensionarse según el terreno en el que se ubique y en función de las acciones consideradas.
- **CTE-DB-A: Acero.** En este documento se establecen los principios para verificar la seguridad estructural de los elementos realizados con acero en edificación. Al estar la nave formada por pórticos hechos de acero, este requisito es indispensable cumplimiento.
- **RD 2661/1998 EHE:** Instrucción de hormigón estructural. Norma aplicable a las estructuras y elementos de hormigón estructural, incluido el hormigón en masa, armado y pretensado, así como hormigones especiales
- **CTE-DB-SI:** Seguridad en caso de incendio. El contenido de este documento tiene por objeto establecer las reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de seguridad en caso de incendio.
- **RD 2267/2004: RSCIEI:** Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales. El objeto de este reglamento es definir los requisitos que deben satisfacer y las condiciones a cumplir los establecimientos e instalaciones de uso industrial para su seguridad en caso de incendio, para prevenir su aparición y para dar una respuesta adecuada en caso de producirse. Este reglamento tiene prioridad sobre el CTE-DB-SI al tratarse de una nave industrial el objeto de este proyecto.

### 4.2 Programa de cálculo

El cálculo estructural de la nave se realizará con una herramienta informática: CYPE Ingenieros, versión 2016.b.

Este programa consta de gran cantidad de módulos con los que permite calcular cualquier tipo de edificación industrial, desde naves hasta edificios de viviendas pasando por cualquier tipo de estructura. Mediante métodos matriciales, el programa permite diseñar cualquiera de estas tipologías de forma sencilla y fiable.

Para el diseño de la estructura metálica de una nave industrial, como es el caso de aplicación, únicamente es necesario el uso de dos de sus módulos: Generador de Pórticos y Cype 3D.

#### **4.2.1 Generador de pórticos**

Este módulo es un asistente inicial que por su sencillez y facilidad permite realizar una primera aproximación al dimensionado de la nave.

En un primer instante, se genera la geometría del pórtico en función de las medidas y la tipología empleada. Una vez realizado esto, el programa permite introducir las cargas de peso propio y sobrecarga de uso, así como los valores necesarios para realizar el cálculo de las cargas de viento y nieve en función de la zona y la norma elegida.

Además de esto, este módulo permite realizar el dimensionado de las correas de los laterales y la cubierta de la nave, cumpliendo con los criterios de forma óptima, tanto en el tamaño del perfil elegido como en la separación entre correas.

Por último, una vez definida la geometría, las acciones a considerar, y dimensionadas las correas, este módulo permite exportar todo lo obtenido a Cype 3D, donde se completa el cálculo de la estructura.

#### **4.2.2 Cype 3D**

Este módulo de Cype permite calcular estructuras en 3 dimensiones de barras de acero, aluminio, hormigón e incluso madera.

Una vez exportados los datos desde el Generador de Pórticos, en este programa lo que se encuentra es cada pórtico de forma individual con sus pilares y sus vigas. Por tanto, el primer paso a la hora de usar este módulo es completar la estructura con las barras que falten, como los pilares hastiales, dinteles, arriostramientos, etc.

Cuando se tiene la geometría de la estructura al completo, el siguiente paso es la vinculación interior y exterior de cada nodo definiendo si es articulado o rígido. De la misma forma, también será necesario describir cada una de las barras mediante sus coeficientes de pandeo, flecha máxima, material, disposición, etc. Es recomendable pre-dimensionar cada barra antes de comenzar el cálculo.

Por último, el programa permite comprobar cada barra con el perfil inicialmente indicado, así como optimizar su dimensionado si fuera necesario. Además, en el programa se pueden crear diversas condiciones de carga así como calcular la resistencia de la estructura contra incendio y sismos.

## 5 Consideraciones previas

### 5.1 El acero y sus características

El acero ordinario es uno de los materiales más empleados en las construcciones industriales, junto con el acero inoxidable y el aluminio. Su uso se debe a su bajo coste y a la capacidad que tiene de lograr soluciones estructurales de gran envergadura, como cubrir grandes luces y soportar cargas importantes.

A grandes rasgos, dentro de los aceros estructurales, puede diferenciarse entre:

- Aceros laminados en caliente: Son aceros no aleados, con una microestructura normal.
- Aceros conformados en frío: Son aceros cuyo proceso de fabricación les confiere unas características específicas en cuanto a sección y resistencia mecánica.

Pertenecientes a uno de estos dos tipos, los aceros más utilizados en el marco estructural son: **S235**, **S275**, **S355** y **S450**, siendo sus posibles grados **JR**, **JO**, **J2** y **K2**; donde la “S” hace referencia a “Steel” y el número hace referencia al límite elástico del material. En cuanto a los diferentes grados, estos indican la sensibilidad a la rotura frágil y su soldabilidad, de forma que el grado “JR” será el usado en construcciones normales, mientras que los grados “JO” y “J2” se usarán en construcciones con mayores exigencias estructurales.

A continuación se muestra una tabla extraída del CTE-DB-SE-A donde puede verse las características mecánicas mínimas de los aceros comentados.

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura del ensayo Charpy °C
	Tensión de límite elástico $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )			Tensión de rotura $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63	3 ≤ t ≤ 100	
<b>S235JR</b>					20
<b>S235JO</b>	235	225	215	360	0
<b>S235J2</b>					-20
<b>S275JR</b>					20
<b>S275JO</b>	275	265	255	410	0
<b>S275J2</b>					-20
<b>S355JR</b>					20
<b>S355JO</b>	355	345	335	470	0
<b>S355J2</b>					-20
<b>S355K2</b>					-20 <sup>(1)</sup>
<b>S450JO</b>	450	430	410	550	0

<sup>(1)</sup> Se le exige una energía mínima de 40J.

*Tabla 1: Características mecánicas mínimas de los aceros*

En cuanto a las características comunes a todos los aceros, a continuación se presentan las más destacadas:

- Módulo de Elasticidad:  $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Módulo de Rigidez:  $G = 81.000 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de Poisson:  $\nu = 0,3$
- Coeficiente de dilatación térmica:  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} (\text{°C})^{-1}$
- Densidad:  $\rho = 7.850 \text{ Kg/m}^3$

## 5.2 Conceptos sobre construcción industrial

### 5.2.1 Cimentación

La cimentación es el conjunto de elementos que se utilizan para transmitir al suelo todas las cargas transmitidas a través de la estructura y cualquier elemento conectado a ella, de forma que este no supere su capacidad portante. De esta forma, una vez se tienen calculadas las reacciones que se generan en el suelo a causa de todos los esfuerzos a los que está sometida la estructura, se diseña la cimentación teniendo en cuenta la capacidad portante del suelo como tensión máxima a transmitir.

Existen diversos tipos de cimentaciones en función del suelo y del tipo de edificación a construir. Para conocer las características del suelo, suele realizarse un estudio geotécnico donde se obtienen resultados relativos a su cohesión, ángulo de rozamiento interno, nivel freático, etc. Con estos valores se determina el valor máximo de carga a transmitir y a partir de esto se diseña la cimentación.

La clasificación más general de las cimentaciones se divide en: cimentaciones directas y profundas.

- Cimentaciones directas: Una cimentación directa es aquella que reparte las cargas en un plano de apoyo horizontal. Este tipo se emplea para transmitir al suelo las cargas de pilares en una estructura, muros de carga, forjados, etc. Los más conocidos dentro de este tipo son las zapatas, pudiendo encontrar zapatas aisladas, combinadas y corridas.
- Cimentación profundas: Las cimentaciones profundas se usan cuando las capas superficiales del suelo no aportan la capacidad portante adecuada y es necesario llegar a capas más profundas. Este tipo de cimentación se basa en el esfuerzo cortante entre la propia cimentación y el terreno, es decir, la fricción vertical generada, para soportar las cargas aplicadas. Los más conocidos son los pilotes y las pantallas.

En el caso de una estructura metálica, lo más común son las zapatas aisladas de hormigón armado tipo HA-25 o HA-30, con aceros B-400S o B-500S.

### 5.2.2 Placas de anclaje

Las placas de anclaje son los elementos que se encargan de hacer la transición entre la estructura metálica y las zapatas de cimentación, de forma que en ningún punto de la unión se superen las tensiones admisibles del material.

El hormigón usado en las zapatas es menos resistente que el acero que compone los pilares estructurales por lo que es necesario un aumento de sección para conseguir una superficie adecuada de contacto. Esta placa se sujeta al cimiento mediante unos pernos de anclaje que quedan embebidos en el hormigón, de forma que cuando este fragua y endurece trabajan por adherencia.

Además, también suelen utilizarse cartelas de rigidez en la unión para conseguir una transmisión de esfuerzos de un material a otro de la forma más homogénea posible.

Normalmente se considera la unión como empotrada por lo que las placas de anclaje deben resistir esfuerzo axial, cortante, flector, y torsor.

### 5.2.3 Pilares y vigas

Los pilares (o soportes) son los elementos estructurales encargados de transmitir todas las cargas verticales al terreno, a través de la cimentación y las placas de anclaje. Estos elementos trabajan principalmente a compresión con algo de flexión.

Las vigas (o jácenas) son los elementos lineales en los que una dimensión predomina sobre las otras dos. Su forma de trabajo es casi exclusivamente a flexión por lo que suelen adoptar forma de I, para obtener la máxima inercia y optimizar el material disponible.

Estos elementos se colocan de forma horizontal (o ligeramente inclinada) para transmitir las cargas de la estructura hacia los pilares. Trabajan principalmente con momento flector, esfuerzo cortante y torsiones.

Para dimensionar estos elementos es necesario tener en cuenta las cargas que va a soportar, el tipo de acero y la longitud.

Para los pilares, suelen utilizarse perfiles simples del tipo IPN, IPE, HEA, HEB. Con estos se obtienen grandes aprovechamientos del material utilizado.

En cuanto a las vigas, aunque también se utilizan perfiles simples del tipo IPN, IPE o HE por su rendimiento mecánico y simplicidad, es habitual encontrarse vigas armadas de diferentes tipos:

- Vigas múltiples: Constituidas por dos o más perfiles simples adosados.
- Vigas reforzadas: Se utilizan refuerzos como chapas o pletinas para optimizar el elemento y conseguir ahorro de material. Son bastante habituales en las construcciones industriales de estructuras metálicas.
- Vigas armadas: Están formadas únicamente de chapas o pletinas unidas mediante soldadura, pernos, roblones, angulares, etc.
- Vigas aligeradas: Son perfiles de alma aligerada. Pueden resultar económicos cuando se tienen grandes luces y cargas moderadas porque el perfil trabaja con mayor esfuerzo de flexión que cortante.
- Vigas de celosía: Son vigas constituidas por un cordón superior, otro inferior y elementos de relleno. Suelen utilizarse en estructuras con grandes luces ya que el ahorro de material es considerable.

#### 5.2.4 Correas y arriostramientos

Las correas son los elementos estructurales encargados de soportar el peso de la cubierta, así como los posibles esfuerzos debidos a las acciones que le transmite la cobertura, y poder transmitirlos a su vez a la estructura del edificio.

Estas correas se apoyan en las alas superiores de las jácenas de los pórticos y su separación es función del material de cobertura y de su geometría (módulo resistente), de la disposición constructiva, dimensiones y sistema de fijación. De esta forma, las correas se distribuyen con la máxima separación posible siempre que se cumplan los requerimientos resistentes del material de cerramiento. El objetivo perseguido a la hora de dimensionar las correas y su separación es minimizar el peso, ya que el peso de estas oscila entre un 25-30% del total de la estructura.

El apoyo de las correas sobre los pórticos se realiza con uniones soldadas o remaches. El cálculo se realiza considerando las correas como vigas apoyadas con una carga uniforme distribuida. Suelen emplearse perfiles IPN, perfil Z, simple T, o vigas de celosía.

En cuanto a los arriostramientos, son los elementos encargados de transmitir los esfuerzos generados por el viento frontal desde el pórtico de fachada hasta el pórtico interior adyacente, y este a su vez lo transmite al suelo. Este objetivo se consigue mediante las vigas contraviento y las cruces de San Andrés.

Las cruces de San Andrés son barras en forma de aspa colocadas entre los dos pórticos de forma que quedan completamente enmarcadas entre las jácenas de los pórticos y las vigas contra viento. Realmente son estas vigas las que reciben la mayor parte de los esfuerzos producidos por el viento frontal, siendo la función de las cruces en aspa absorber las reacciones generadas en los extremos de estas barras.

La Cruz de San Andrés suele dimensionarse con tirantes de forma que siempre habrá un tirante trabajando a tracción soportando todo el esfuerzo, y otro, que al estar destensado, no trabaja; dependiendo del tipo de viento frontal (presión o succión) será un tirante u otro. Para el correcto diseño de estas cruces es necesario cumplir con los siguientes criterios:

- La cruz debe estar completamente enmarcada con bastidores excepto en aquellos casos donde dos de los extremos estén anclados al suelo (como por ejemplo las cruces laterales).
- Los ángulos del marco tienen que ser rectos y los tirantes deben tener la misma sección y ser del mismo tipo de acero.
- La sección del tirante ha de ser menor del 20% de la sección del bastidor con menor sección.

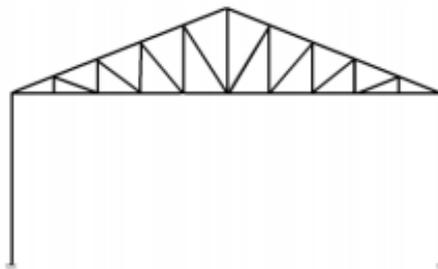
### 5.2.5 Tipologías estructurales

Una vez definidos los diferentes elementos estructurales, se puede hablar de cómo su unión forma diferentes tipologías que componen un sistema estructural completo.

Una tipología bastante típica en el diseño estructural son las cerchas. Una cercha se podría definir como un tipo especial de viga formada por barras trianguladas entre sí y articuladas que se emplea normalmente para salvar grandes luces. Las cerchas se articulan a los pilares por lo que no les transmiten momentos y esto hace que, tanto el pilar que conforma el pórtico, como la zapata sean menores.

Por otro lado, la tipología usada en todas las naves industriales son los pórticos. Los pórticos se componen de vigas y pilares con uniones que suelen ser rígidas (aunque también puede darse el caso de uniones articuladas). Son la tipología básica de un sistema estructural y se pueden diferenciar diferentes tipos.

- a) Pórticos realizados mediante cerchas: como se ha comentado anteriormente, las cerchas son un tipo de viga especial que se utiliza en pórticos de grandes luces. A continuación puede verse un ejemplo de un tipo de pórtico con cerchas.



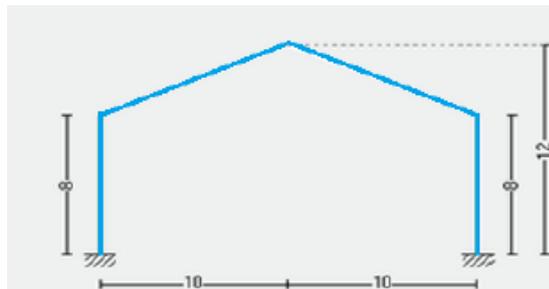
*Ilustración 1: Pórtico con cercha.*

- b) Pórticos de perfil variable: Los pórticos de perfil variable tienen la ventaja de que consiguen reducir los esfuerzos transmitidos al suelo por lo que sus zapatas de cimentación serán menores. Sin embargo, son pórticos diseñados exclusivamente para cada nave por lo que sólo se suelen utilizar en casos especiales.



*Ilustración 2: Pórtico de perfil variable.*

- c) Pórticos rígidos: Los pórticos rígidos simples presentan una gran facilidad de construcción y montaje dado que los perfiles que lo componen son continuos y no tienen variación dimensional. Este tipo de pórticos transmiten momentos a los pilares por lo que estos deberán ser más grandes que en otras tipologías o usar cartelas para complementar las uniones.



*Ilustración 3: Pórtico rígido.*

### 5.3 Bases de cálculo

Seguindo el modelo del documento CTE-DB-SE: Seguridad estructural, se utilizará un modelo para el análisis estructural basado en la verificación de los estados límites últimos y de servicio, mediante la determinación del efecto de las acciones consideradas.

El programa usado para el cálculo, CYPE Ingenieros, permite realizar todas las comprobaciones necesarias siguiendo este modelo comentado basado en el CTE, por lo que se va a realizar una serie de aclaraciones y explicaciones necesarias para comprender los resultados de cálculo que se adjuntan en los anexos. Para mayor información sobre las bases de cálculo, es necesario acudir a este documento oficial dónde se encuentra el procedimiento detallado.

#### 5.3.1 Generalidades sobre el análisis estructural.

Para la comprobación estructural de la construcción se requiere, en un primer paso, determinar todas las situaciones de dimensionado determinantes; a continuación establecer las acciones a tener en cuenta; realizar el cálculo estructural, y por último, verificar que no se sobrepasan los estados límite.

Los **estados límite** son las situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que el edificio no cumple alguno de los requisitos estructurales. Puede diferenciarse entre **estados límite últimos**, que de ser superados constituirían un riesgo para las personas; y **estados límites de servicio**, que de ser superados afectan al bienestar de los usuarios o al correcto funcionamiento de la construcción.

En cuanto a las acciones a considerar, podemos diferenciar:

- **Acciones permanentes (G):** son aquellas que actúan en todo momento sobre la estructura, en posición constante. Un ejemplo sería el peso propio o el pretensado.
- **Acciones variables (Q):** son aquellas que pueden actuar o no sobre el edificio, como ejemplo se tiene la sobrecarga de uso o las acciones climáticas.

- **Acciones accidentales (A):** son aquellas que presentan una probabilidad de ocurrencia muy baja pero de gran importancia. Un ejemplo sería el sismo, incendio o explosión.

### **5.3.2 Verificaciones.**

En la verificación de los estados límite, para la determinación del efecto de las acciones, se utilizarán los valores de cálculo de las acciones obtenidos a partir de sus valores característicos o representativos, multiplicándolos o dividiéndolos por los correspondientes coeficientes parciales.

A continuación se presentan aquellas verificaciones a realizar una vez hecho el cálculo estructural:

- a) **Capacidad portante:** es la aptitud de una construcción para asegurar la estabilidad del conjunto y la resistencia necesaria durante el periodo de servicio (habitualmente 50 años).

Para este caso se utilizan unos valores de los efectos de las acciones considerando una combinación de estas en función de si la situación es persistente, transitoria o extraordinaria. Las expresiones y los coeficientes empleados pueden encontrarse de forma más detallada en el CTE.

- b) **Aptitud de servicio:** es la capacidad de asegurar el funcionamiento de la obra, el confort de los usuarios y el mantenimiento visual.

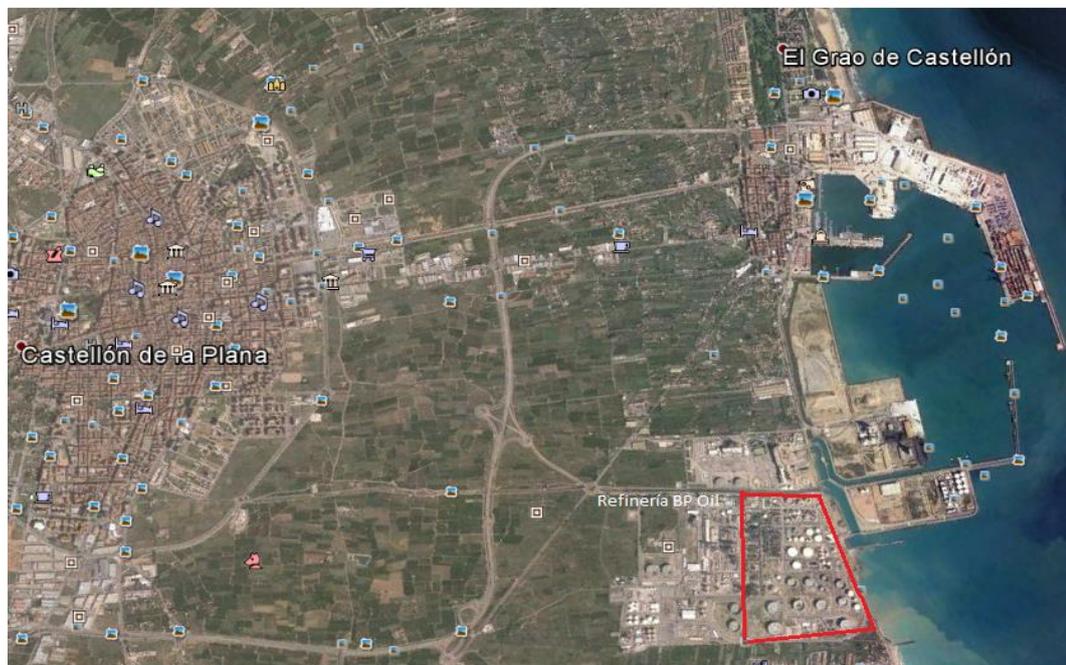
Para la comprobación de los cálculos realizados se establecen límites en relación con los desplazamientos que sufren los elementos constructivos.

En este caso se consideran unos valores de los efectos de las acciones mediante una combinación de estas en función de si las acciones son de corta duración con efectos reversibles o irreversibles, o si son de larga duración. Las expresiones y los coeficientes empleados pueden encontrarse de forma más detallada en el CTE.

## 6 Caso de estudio

### 6.1 Ubicación de la nave

La nave de la que se pretende calcular la estructura metálica se encuentra ubicada dentro de las instalaciones de la refinería de Castellón perteneciente a la empresa BP Oil España, dentro de la Comunidad Valenciana.



*Ilustración 4: Ubicación de la nave.*

Concretamente, su emplazamiento se realizará adosado al almacén ya existente dentro de las instalaciones de la refinería.



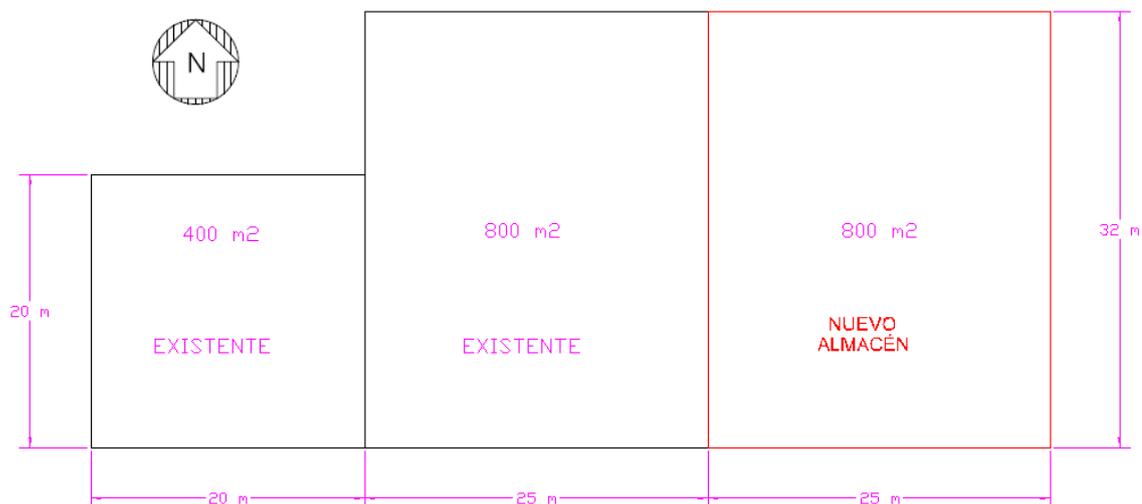
*Ilustración 5: Vista de la parcela.*

## 6.2 Descripción de la nave

Como se ha comentado en el punto de “Antecedentes”, esta nave servirá de ampliación del almacén general de la refinería. Actualmente, el espacio existente se compone de dos naves diáfanas en su interior. En un principio se construyó el primer almacén con unas dimensiones de 20x20 metros; unos años después y con unos motivos muy similares a los actuales, se realizó la primera ampliación con una nave de 25x32 metros. A día de hoy, la nave a proyectar constituirá la segunda ampliación del almacén y tendrá una superficie de 25x32 metros.

El conjunto de las tres naves ha de ser diáfano como se realizó en la primera ampliación, de forma que desde el interior sea todo un mismo espacio.

A continuación se muestra un croquis simplificado del espacio existente y el actual para una mayor comprensión de la disposición de las naves.



*Ilustración 6: Croquis del espacio existente.*

Como ya se ha comentado previamente, la nave estará dedicada al almacenamiento de material metálico y eléctrico necesario para la ejecución de los trabajos a realizar en planta. Para este almacenaje, se ubicarán estanterías metálicas en su interior.

En cuanto a las características arquitectónicas que se han seleccionado como punto de partida:

- La tipología seleccionada será de pórticos con cercha y cubierta a un agua con pendiente hacia el lado este de la parcela. Se realizará con panel sándwich de 30 mm de espesor.
- El cerramiento se compondrá de panel de sándwich de 35 mm de espesor. Únicamente se colocará cerramiento en los pórticos de fachada y el lateral este, de forma que el lateral oeste de la nave se unirá con la nave actual (previo desmantelamiento de su cerramiento en la cara este) formando un espacio diáfano en el interior.
- La cimentación estará basada en zapatas rectangulares o cuadradas en función de las reacciones obtenidas en la base de los pilares.

- La tensión admisible del terreno se considera de  $0,51 \text{ Kg/cm}^2$ , dato obtenido a partir de un estudio geotécnico realizado para la construcción de una subestación eléctrica situada en las proximidades de la nave.

Las dimensiones máximas de la nave vienen impuestas por el espacio existente entre la nave actual y los bunkers ubicados en la zona este. En este espacio se encuentra un fumadero así como una pequeña zona ajardinada donde habría que realizar trabajos de demolición previos a la obra civil.

A continuación se muestran algunas dimensiones características de la estructura:

- Luz de la nave: 22,22 m. Se deja un pequeño espacio entre los pilares de la nave actual y la nueva de forma que sus cimentaciones sean independientes.
- Longitud de la nave: 31,86 m.
- Altura de pilares en lado oeste: 9,52 m.
- Altura de pilares en lado este: 9,27 m.
- La nave constará de 7 pórticos (5 interiores más los 2 pórticos de fachada) cuya separación no será homogénea. Se ha decidido su emplazamiento de forma que los pilares de la nave actual y la nueva estén alineados. De esta forma, los cuatro primeros vanos comenzando desde el pórtico de fachada sur tendrán una separación de 5 m, mientras que los dos vanos restantes se separarán 6,6 m y 5,26 m respectivamente.
- Se tendrán dos accesos a la nave: una puerta grande de dimensiones  $3 \times 4 \text{ m}^2$  en la fachada norte y un acceso peatonal con una puerta pequeña en el lateral derecho (este último no se ha considerado en los cálculos de la acción del viento puesto que es una puerta que debería estar siempre cerrada).

## 7 Cálculo de la estructura metálica

### 7.1 Acciones consideradas

El primer paso a la hora de calcular la estructura de la nave en cuestión es la determinación de las cargas que estarán aplicadas. Para ello, se sigue paso a paso el CTE en su documento DB-SE-AE donde se explican cada una de las acciones a considerar (permanentes, variables y accidentales).

Por tanto, el dimensionado de los elementos estructurales dependerá de las cargas aplicadas según el CTE y los efectos que estas tengan sobre la estructura, de forma que se dimensiona cada elemento para que estos efectos no superen unos valores máximos.

#### 7.1.1 Acciones permanentes

Las acciones permanentes consideradas se componen de los pesos de los propios elementos del edificio. En este caso constaría del peso de:

- Cubierta: estará formada por paneles sándwich de 30 mm de espesor, apoyados en las correas. Se modela con una carga distribuida de **10,50 Kg/m<sup>2</sup>**.
- Correas: soportan la cubierta. El valor de la carga correspondiente a su peso dependerá del dimensionado posterior.
- Dinteles: aparecen acciones en los apoyos de las correas de sujeción, debidas al peso de la cubierta y las propias correas. La resistencia de los dinteles depende de la inercia y la geometría de las vigas, por lo que el valor de la carga correspondiente a su peso dependerá del dimensionado posterior.

No se ha considera el peso propio de la carpintería, revestimientos, rellenos, ni equipo fijo.

#### 7.1.2 Acciones variables

Dentro de las acciones variables se ha tenido en cuenta la sobrecarga de uso, el efecto de la nieve y el efecto del viento.

- a) **Sobrecarga de uso**: esta acción hace referencia a aquellas cargas que puedan gravitar sobre la estructura a razón de uso. Suelen modelarse como una carga distribuida uniformemente.

Atendiendo al CTE, se presenta la siguiente tabla donde se clasifican los valores de carga a aplicar en función del uso del edificio.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 <sup>(1)</sup>
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(2)</sup>			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación <sup>(3)</sup>	G1 <sup>(7)</sup>	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 <sup>(4)(6)</sup>	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) <sup>(6)</sup>	0,4 <sup>(4)</sup>	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 2: Valores característicos de la sobrecarga de uso.

El caso de aplicación de este proyecto, al ser una estructura para un almacén, se contemplaría una categoría de “Cubiertas accesibles únicamente para conservación”, con una subcategoría G1 “Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado)”, por lo que el valor de carga a aplicar sería de **40 kg/m<sup>2</sup>**.

- b) **Viento**: la distribución y el valor de esta acción dependen en gran parte de la forma del edificio así como de las características y dirección del viento. Es por ello que el CTE intenta modelar de la forma más aproximada posible el valor de esta carga mediante el uso de diferentes coeficientes.

La fuerza del viento, que generalmente tiene una dirección perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, se representa mediante la presión estática  $q_e$ :

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

donde  $q_b$  representa el valor de la acción dinámica del viento cuyo valor puede aproximarse a 0,5 kN/m<sup>2</sup> dentro del territorio español, obteniendo valores más precisos en función del emplazamiento;  $c_e$  representa el coeficiente de exposición, variable con la altura y con el grado de aspereza del entorno donde esté ubicada la estructura;  $c_p$  representa el coeficiente eólico dependiente de la forma y orientación de la superficie golpeada por el viento.

## TRABAJO FIN DE GRADO

La nave a diseñar se encuentra ubicada en Castellón, por lo que se corresponde con la **zona eólica A** como puede verse en la siguiente imagen.



Ilustración 7: Valores básicos de la velocidad de viento por zonas.

A esta zona le corresponde un valor de **presión dinámica**  $q_b = 0,42 \text{ kN/m}^2$ .

En cuanto al **coeficiente de exposición**, siguiendo el documento mencionado del CTE, tiene un valor dependiente de la altura de la nave sobre el terreno y el entorno en el que esté ubicada, y puede determinarse con las expresiones:

$$c_e = F \cdot (F + 7k)$$

$$F = k \cdot \ln(\max(z, Z) / L)$$

Siendo k, L, Z parámetros característicos de cada tipo de entorno:

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
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	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Tabla 3: Grado de aspereza del entorno.

La nave calculada se encuentra ubicada en la refinería de Castellón, al lado de la zona portuaria, por lo que su grado de aspereza sería I correspondiente al borde del mar.

$$Z = 1 \text{ m}; \quad z = 9,52 \text{ m}; \quad L = 0,003 \text{ m}; \quad k = 0,156$$

$$F = 0,156 \cdot \ln(9,52 / 0,003) = 1,258$$

$$c_e = 1,258 \cdot (1,258 + 7 \cdot 0,156) = 2,955$$

El último parámetro que queda por definir es el **coeficiente de presión**, siendo también el más complejo y de mayor dificultad de interpretación en el CTE. Este parámetro se subdivide en dos nuevos coeficientes en función de si el viento es interior o exterior.

Para el parámetro de presión interior, el documento proporciona unos coeficientes en función de la esbeltez que ve el viento según la dirección. En este caso, la nave únicamente tiene un acceso por la fachada norte por lo que el programa buscará las dos posibilidades pésimas para cada dirección del viento: la que produce mayor presión y la que produce mayor succión.

Por último, para el parámetro de presión exterior, Cype genera las diferentes hipótesis basándose en los coeficientes que especifica el código técnico en función de la dirección del viento y la tipología de la estructura. La nave de diseño se correspondería con los coeficientes de “Cubiertas a un agua” con un ángulo de inclinación de la cubierta menor a 5° y con un área de huecos de 12 m<sup>2</sup>. Se ha considera que los huecos no estén permanentemente abiertos.

Cype generará 14 hipótesis de viento de acuerdo con lo explicado anteriormente:

- 0°: Presión exterior tipo 1. Sin acción en el interior.
- 0°: Presión exterior tipo 2. Sin acción en el interior.
- 0°: Presión exterior tipo 1. Succión interior.
- 0°: Presión exterior tipo 2. Succión interior.
- 90°: Presión exterior tipo 1. Sin acción en el interior.
- 90°: Presión exterior tipo 2. Sin acción en el interior.
- 90°: Presión exterior tipo 1. Presión interior.
- 90°: Presión exterior tipo 2. Presión interior.
- 180°: Presión exterior tipo 1. Sin acción en el interior.
- 180°: Presión exterior tipo 2. Sin acción en el interior.
- 270°: Presión exterior tipo 1. Sin acción en el interior.
- 270°: Presión exterior tipo 2. Sin acción en el interior.
- 270°: Presión exterior tipo 1. Succión interior.
- 270°: Presión exterior tipo 2. Succión interior.

## TRABAJO FIN DE GRADO

- c) **Nieve:** La distribución e intensidad de la carga de nieve sobre la cubierta de una construcción industrial dependerá en su mayor medida del clima del lugar, relieve del entorno, forma de la cubierta y los efectos del viento.

Para determinar el valor de esta carga en una cubierta ligera como lo es en este caso, se utiliza la siguiente expresión:

$$q_n = \mu \cdot S_k$$

Donde  $\mu$  es el coeficiente de forma de la cubierta y  $S_k$  es el valor característico de la carga de nieve.

En este caso y siguiendo de nuevo el documento del CTE, para la nave en cuestión se tiene un coeficiente de forma igual a 1 ya que no se supone ningún impedimento al deslizamiento de la nieve y la cubierta tiene una inclinación menor de 30°.

En cuanto al valor característico:

Capital	Altitud m	$S_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$S_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$S_k$ kN/m <sup>2</sup>
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas- tián/Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	10	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	1.090	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	0	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,6	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	950	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	550	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	0	0,5
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia/València	690	0,2
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	520	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	210	0,4
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	0	0,5
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Tabla 4: Valores característicos de la carga de nieve.

Al estar situada en Castellón a 0 metros de altitud:  $q_n = S_k = 0,2 \text{ kN/m}^2$

Además de esto, se tienen en cuenta las posibles distribuciones asimétricas de la nieve en la cubierta, reduciendo a la mitad el coeficiente de forma en las partes en las que la acción sea favorable. De acuerdo con estos datos CYPE generará 2 hipótesis de nieve:

- N1: Sobrecarga de nieve estado inicial.
- N2: Sobrecarga de nieve en redistribución.

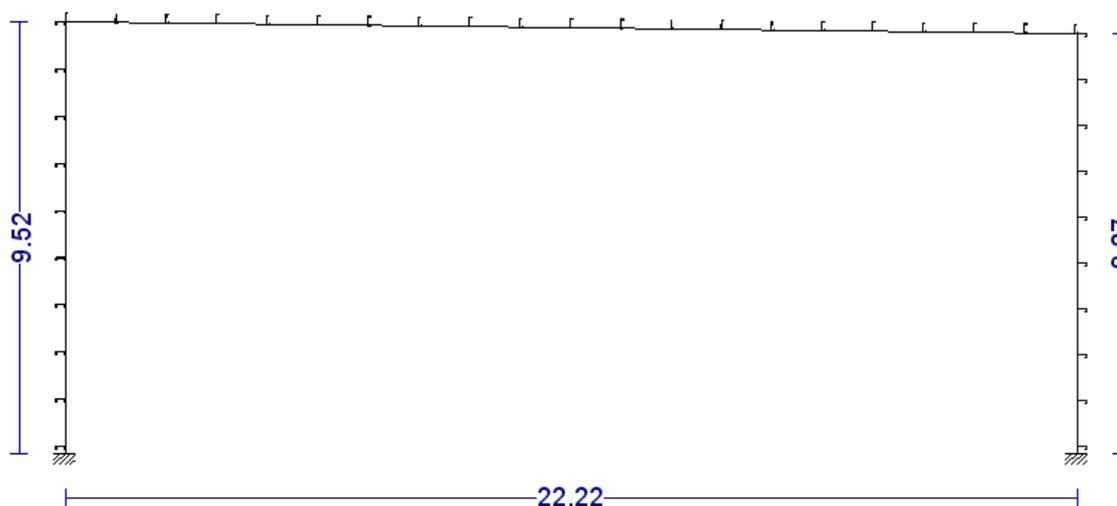
## 7.2 Dimensionado de la estructura

En este apartado se pretende realizar una descripción del procedimiento seguido para el cálculo de la estructura metálica de la nave en cuestión. Para ello, como ya se ha comentado previamente, se ha utilizado el programa CYPE Ingenieros.

La estructura principal de la nave se considera como el conjunto de los pilares, vigas y dinteles, excluyendo la cubierta, el cerramiento, y el conjunto de cimentación.

Inicialmente se utiliza el módulo del generador de pórticos para la definición de la geometría del pórtico tipo de la estructura. Con este módulo se suponen todos los pórticos paralelos y equidistantes a una distancia de 6,60 m puesto que es la mayor distancia entre pórticos; posteriormente, en el módulo de Cype 3D, ya se actualizarán las distancias entre los diferentes pórticos.

A continuación se muestra una imagen del generador de pórticos con las dimensiones introducidas.



*Ilustración 8: Dimensiones en el generador de pórticos.*

### 7.2.1 Dimensionado de las correas de cubierta

Una vez definidas las dimensiones principales del pórtico tipo, el siguiente paso es la definición de la normativa a aplicar por el programa, en este caso el CTE, así como los datos necesarios para la simulación de todas las acciones correspondientes.

Además de todo lo anteriormente explicado, una de las mayores ventajas que presenta el módulo del generador de pórticos es el dimensionado de las correas. Este asistente para dimensionar correas, tanto de cubierta como laterales, permite definir la geometría y la separación.

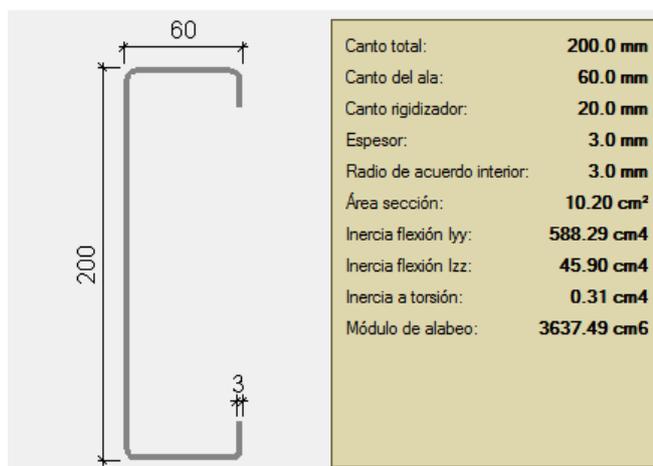
En un primer paso, solicita el tipo de geometría a aplicar, es decir, el perfil que se quiere usar para las correas. En este caso se ha decidido un tipo de perfil concreto por motivos puramente económicos (facilidad de stock del proveedor), dejando al programa que dimensione la distancia

## TRABAJO FIN DE GRADO

más óptima de separación para que cumpla todos los criterios de estados límite, tanto últimos como de servicio.

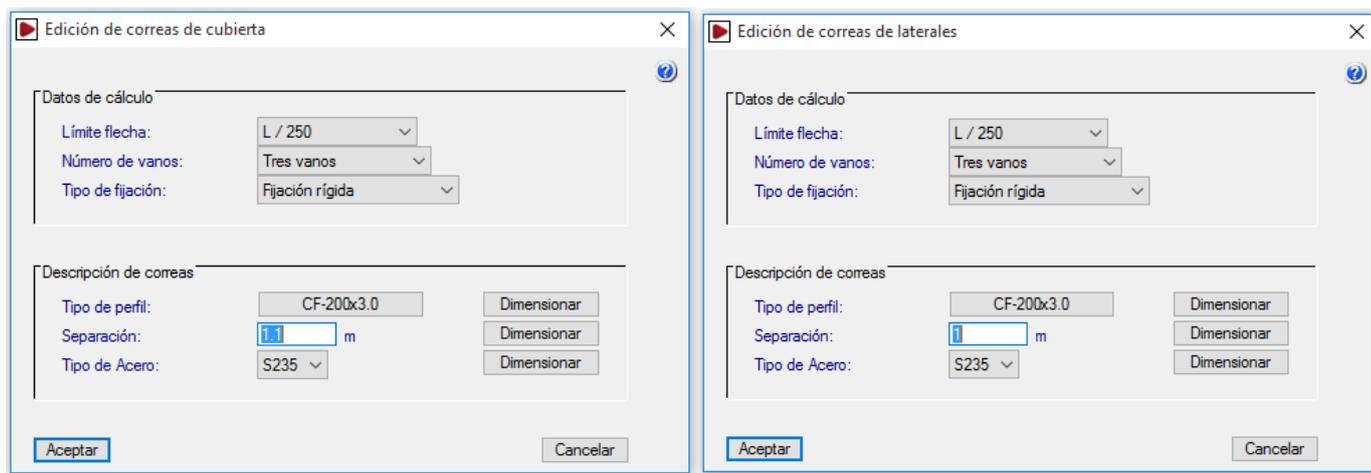
Las correas trabajarán unidas a la cubierta de forma rígida con una longitud de tres vanos. Además, siguiendo el CTE, la flecha máxima estará limitada a  $L/250$ , donde  $L$  es la longitud de la barra.

La solución obtenida ha sido el perfil CF-200x3.0 con una separación de 1,10 m en cubierta y 1 m en los laterales. El tipo de acero empleado es el acero conformado S235. Pueden verse todas las comprobaciones de ELU y ELS realizadas por el programa, así como las características del perfil elegido, en el apartado de “Anexos” de este proyecto.



*Ilustración 9: Perfil empleado en las correas*

A continuación se muestra una imagen correspondiente a la ventana de edición de correas donde pueden verse resumidos todos los datos anteriores.



*Ilustración 10: Edición de correas de cubierta y laterales.*

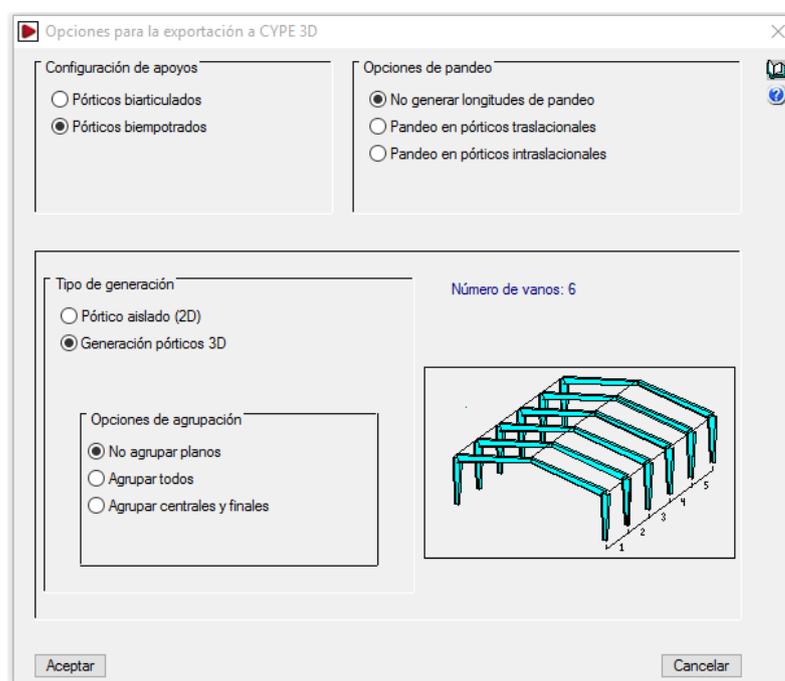
## 7.2.2 Consideraciones a la hora de exportar a CYPE 3D

Previamente a la exportación de los datos obtenidos con el módulo anterior, es recomendable tener en cuenta una serie de consideraciones a la hora de seleccionar las opciones que nos aparecen por pantalla.

- Los pilares se empotrarán a sus zapatas.
- En cuanto a las longitudes de pandeo hay que tener en cuenta lo siguiente:
  - La estructura es intraslacional en su sentido longitudinal puesto que se supone que el cerramiento arriostrará suficientemente la estructura.
  - Sin embargo, los pórticos centrales, en su plano, se consideran traslacionales ya que no tienen ningún tipo de cerramiento, a excepción de los pórticos hastiales que sí que presentan el cerramiento de fachada. Sin embargo, y siempre del lado de la seguridad, se consideran todos los pórticos traslacionales.

Aun sabiendo esto, se ha seleccionado la opción “No generar longitudes de pandeo” puesto que estos coeficientes se tratarán en este apartado con posterioridad.

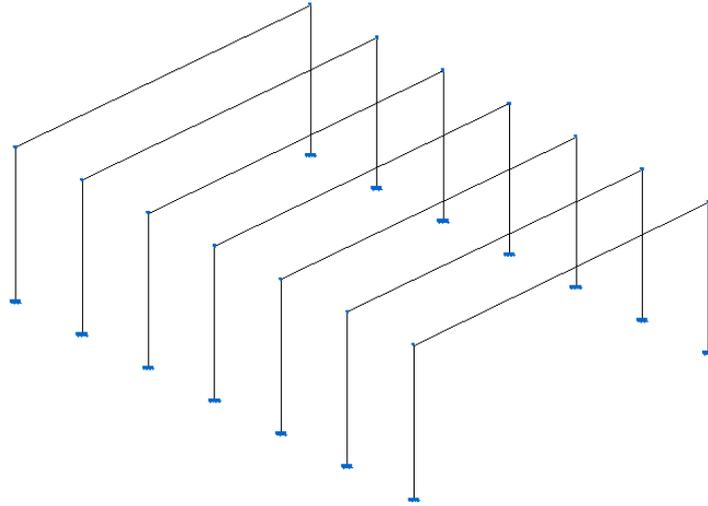
- Es recomendable no agrupar los planos ya que se agruparán al gusto del usuario posteriormente.



*Ilustración 11: Consideraciones a la hora de exportar a CYPE 3D.*

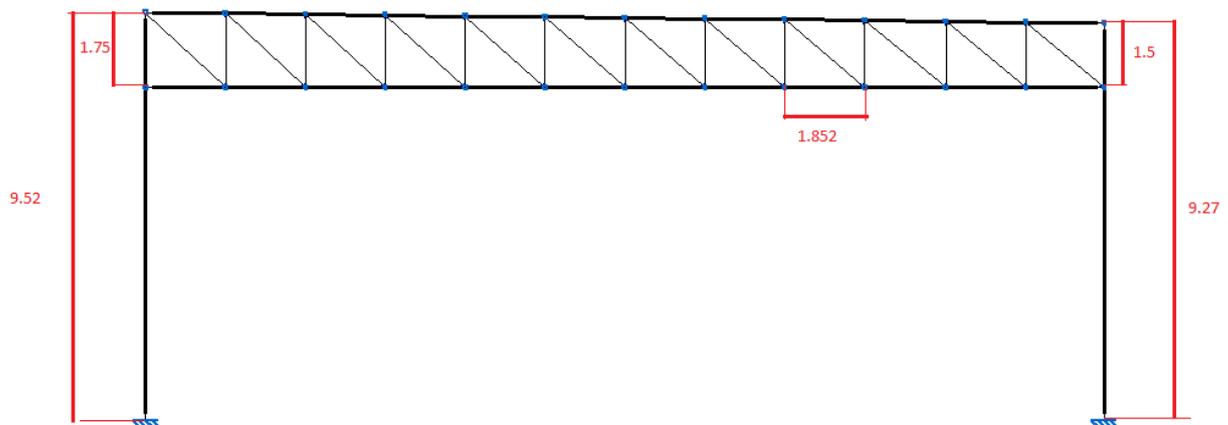
## 7.2.3 Refinado de la geometría de la nave

Tras exportar los datos del módulo anterior al CYPE 3D, se obtiene una estructura formada por 7 pórticos paralelos y equidistantes. Es en este momento cuando se hace necesario realizar la geometría de la estructura de forma exacta. Para ello, en un primer paso se va a definir la separación real de los pórticos puesto que no todos los vanos tienen la misma distancia. Además de esto, también se crearán todas las vigas de atado entre pórticos y los pilarillos hastiales de los dos pórticos de fachada, que son los que aportan mayor resistencia frente al viento frontal.



*Ilustración 12: Geometría exportada desde el generador de pórticos.*

Inicialmente se habían generado pórticos rígidos a un agua, sin embargo, por la tipología de la estructura y para reducir los perfiles que se obtendrán en las vigas, se ha decidido una tipología de cercha para los pórticos. Por tanto, será en este momento también cuando se creen las barras necesarias para formar la celosía como se ve a continuación.



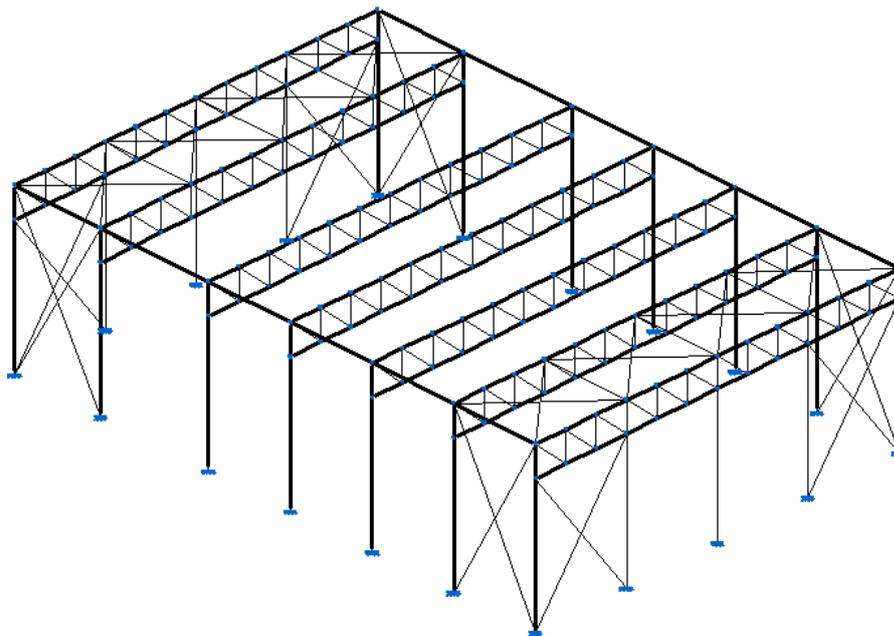
*Ilustración 13: Vista del pórtico tipo y dimensiones de la cercha.*

Para el diseño de esta celosía se ha empleado la “Guía de Diseño para Estructuras en Celosía resueltas con perfiles tubulares de acero”, realizada por el Instituto para la Construcción Tubular (ICT):

- Se ha seleccionado una tipología tipo Pratt.
- Canto (h) (luz = L):  $\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10}$  Si aplicamos esto a las dimensiones de la nave,  $1,5 \leq h \leq 2,2$  por lo que las dimensiones elegidas para los cantos serían correctas.
- Se recomienda un ángulo de encuentro de las barras  $\theta \geq 30^\circ$ . Por el tipo celosía elegida el ángulo de encuentro será cercano a  $45^\circ$ , por lo que se cumple esta condición.

Por último, también es necesaria la creación de los arriostramientos de la estructura. Para ello se crean las barras que funcionarán como tirantes con tipología Cruz de San Andrés y sus bastidores, que son las vigas que enmarcan las cruces.

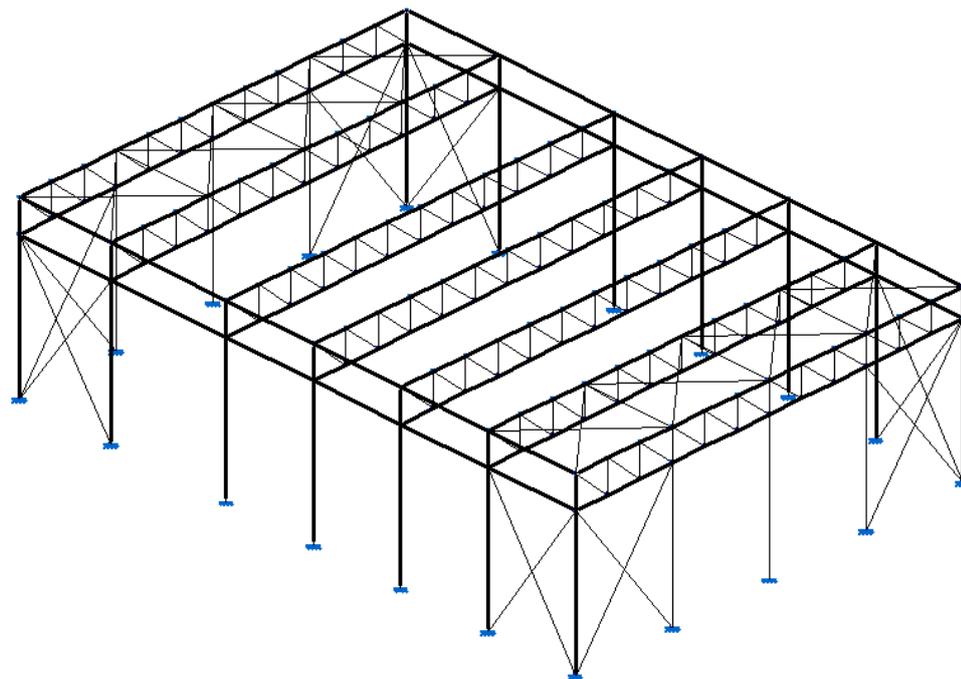
A continuación se muestra una imagen de la estructura completa en 3D.



*Ilustración 14: Estructura completa inicial.*

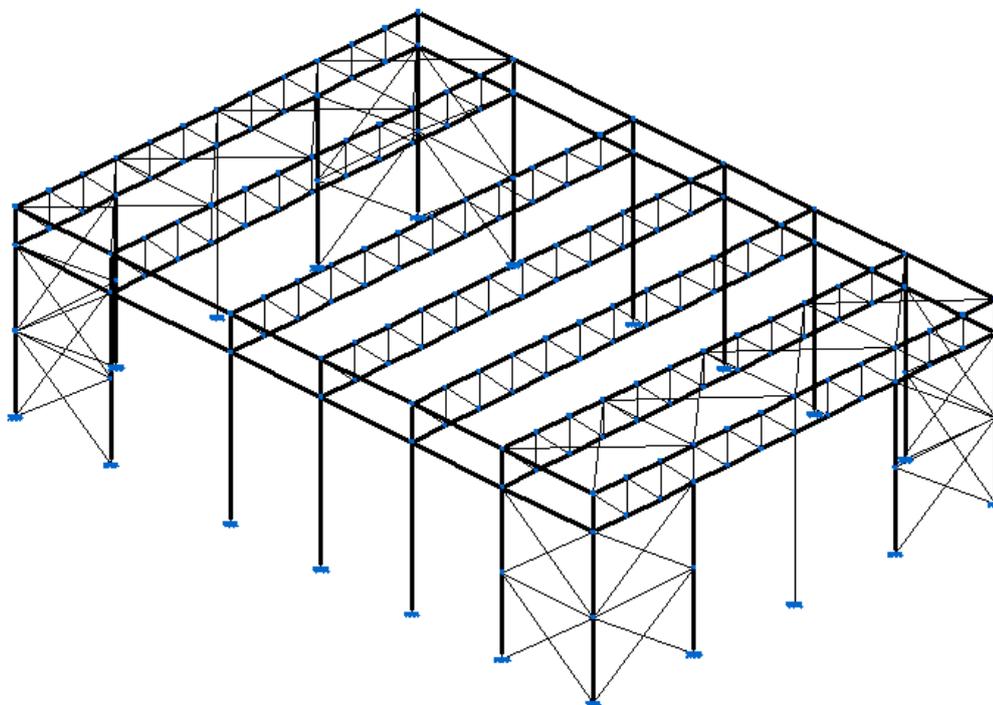
Sin embargo, tras analizar detenidamente la geometría de la estructura, puede verse con facilidad como los arriostramientos laterales y de fachada no están al mismo nivel por lo que supone un efecto negativo en cuanto a la estética. Además, la esbeltez de las CSA en los laterales puede ser excesiva. Por estos motivos se han establecido otras dos opciones en cuanto al diseño de la geometría se refiere.

La segunda opción barajada como posible solución a estos problemas inicialmente propuestos consiste en poner una viga perimetral extra en la parte de debajo de la cercha, de forma que la CSA lateral esté al mismo nivel que la de fachada. Sin embargo esto no solucionaría el problema de la esbeltez.



*Ilustración 15: Estructura completa como solución al problema de las CSA.*

Para evitar el problema de la esbeltez en los tirantes se ha propuesto una tercera solución, que se ha tomado como definitiva, en la cual se han generado una doble CSA en el lateral y en la fachada, como puede verse en la siguiente imagen.



*Ilustración 16: Estructura completa definitiva.*

#### 7.2.4 Descripción de los nudos

Una vez se ha definido la geometría de la nave al completo, el siguiente paso es la vinculación de los nudos.

- Externamente todos los nudos de los pilares están empotrados al suelo por lo que a las zapatas se transmitirán momentos.
- Todos los nudos con uniones entre pilar y viga serán rígidos (vinculación interior como empotramiento), a excepción de las uniones de los pilares hastiales con sus vigas que serán articuladas.
- Las vigas de atado de los pórticos se unirán de forma articulada a estos.
- Todas las barras de las celosías están articuladas en el interior, siendo la celosía la que se une rígidamente a los dinteles y los pilares.
- Los arriostramientos son tirantes por lo que están articulados a las vigas.

#### 7.2.5 Descripción de las barras

El programa CYPE está basado en métodos matriciales de cálculo, por lo que el algoritmo del programa está directamente relacionado con las inercias de cada barra, ya que las matrices de rigidez de estas dependen proporcionalmente de sus inercias. Es por esto que es de suma importancia realizar un primer dimensionado de cada elemento, intentando describir cada barra con unos perfiles lo más próximo posible a los definitivos, para ahorrar tiempo de cálculo.

El programa tiene opciones para realizar todo el dimensionado de las barras desde cero, es decir, sin describir ningún tipo de perfil, dimensionando cada barra desde el más bajo de la serie hasta llegar al primero que cumpla. Sin embargo, esto consume excesivo tiempo de cálculo por lo que es mucho más rápido y sencillo realizar un primer pre-dimensionado, intentando siempre acercarnos a la realidad en la medida de lo posible puesto que si nuestra descripción dista mucho de diseño final, el programa puede transmitir momentos irreales basados en errores numéricos.

- **Pórtico interior:**

- Pilares

Para los pilares de los pórticos tipo se ha elegido el tipo de perfil HEA, ya que presenta unas características de resistencia a la compresión favorables y, además, al tener alas de mayor tamaño que los IPE, tiene mayor facilidad a la hora de sujetar el cerramiento entre sus alas. Como primera aproximación se usa un perfil HEA 240.

## TRABAJO FIN DE GRADO

- Viga en celosía

Al ser 25 metros de luz y la cubierta a un agua, se ha determinado el uso de una viga en celosía, siendo su tipología similar a la celosía Pratt.

De igual modo que para la geometría, se ha seguido la “*Guía de Diseño para Estructuras en Celosía resueltas con perfiles tubulares de acero*”, realizada por el Instituto para la Construcción Tubular (ICT). Para conseguir una primera aproximación se han usado dos ratios proporcionados por la guía según los cuales  $\frac{h}{t} < 37,2$  y  $15 < \frac{b}{t} < 25$  donde la “*h*” hace referencia a la altura del perfil, la “*b*” a la anchura y la “*t*” al espesor.

Para los cordones de la celosía se ha elegido unos perfiles tubulares rectangulares tipo RHS ya que tienen una excelente relación resistencia/peso. El primero elegido ha sido el RHS 180 x 100 x 6.

En cuanto a las barras de relleno se ha elegido un perfil tubular de sección cuadrada SHS 100 x 100 x 6.

- **Pórticos hastiales:**

- Pilares de esquina

Los pilares piñón se dimensionarán con perfiles tipo HEA por el mismo motivo que los pilares del pórtico interior. De la misma forma, se ha elegido una primera aproximación con HEA 240.

- Pilarillos hastiales

Como medida para proteger la estructura ante las acciones del viento frontal, se han añadido unos pilares hastiales en los pórticos de fachada. Para estos elementos, se ha seleccionado una gama de perfiles laminados IPE ya que su misión principal es la de resistencia contra el viento y no la de aguantar el cerramiento de fachada.

Para estos pilares se ha tenido una consideración extra, que es la de girarlos 90° de manera que el alma quede perpendicular al cerramiento, ofreciendo así su mayor inercia para combatir el viento frontal.

- Viga en celosía

Se ha seguido el mismo criterio que para la celosía de los pórticos interiores.

- **Arriostramiento longitudinal**

- Vigas de atado

Estas vigas tienen la función de unir todos los pórticos (los “cosen”) para evitar que las acciones del viento derrumbasen la estructura como si de fichas de dominó se tratara.

Estos elementos constituyen parte del arriostramiento longitudinal de la estructura y permiten reducir en gran medida las longitudes de pandeo de los pórticos puesto que pueden considerarse estos como intraslacional longitudinalmente.

Como perfiles para el dimensionado se ha elegido la gama IPE ya que poseen una buena resistencia al pandeo en su eje fuerte. Se ha elegido como primera iteración el modelo IPE 160.

- Bastidores de las cruces de San Andrés

Estos elementos son los encargados de enmarcar las cruces formadas por tirantes. Para ellos se ha elegido perfiles IPE con un primer dimensionado IPE 100.

- **Arriostramiento lateral**

- Cruces de San Andrés

Para arriostar los pórticos de fachada con los adyacentes, se utiliza la tipología de Cruz de San Andrés con tirantes cruzados en forma de aspa.

Para los laterales se ha elegido un tirante R 16 y para los de cumbrera se ha elegido un tirante R 22 como primera aproximación.

Llegados a este punto nos encontramos con la geometría definida, los nudos vinculados y las barras descritas en función de su tipo de perfil. El siguiente paso es describir los coeficientes de pandeo y la limitación de los desplazamientos de cada barra.

### 7.2.6 Coeficientes de pandeo en las barras

Hay que prestar especial atención a los coeficientes de pandeo que se seleccionen ya que limitará la capacidad resistente de las secciones que empleemos para cada barra, es decir, nos limitará la resistencia de la estructura.

El coeficiente de pandeo ( $\beta$ ) es un valor numérico que multiplica la longitud de una barra para obtener un parámetro llamado longitud equivalente ( $L_k = \beta \cdot L$ ). Este parámetro depende de las restricciones que tengan los nudos extremos de la barra.

Partiendo de las bases del CTE-DB-SE-A, se presentan los siguientes coeficientes:

Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	biempotrada desplazable	en ménsula
Longitud $L_k$	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L

*Tabla 5: Longitud de pandeo de barras según CTE*

En el módulo CYPE 3D, los coeficientes de pandeo se eligen en función de los ejes locales de cada barra, donde el plano  $xy$  se corresponde con el plano paralelo a las alas del perfil (*plano débil*) y el plano  $xz$  se corresponde con el plano que contiene el alma (*eje fuerte*).

- En los pilares de los pórticos intermedios se ha decidido poner los siguientes coeficientes:
  - o Plano  $xy$ : se ha seleccionado una  $\beta = 0,7$ . Esto se debe a que aunque el cerramiento lateral impide en gran medida el pandeo en ese plano, al estar formado por chapa metálica no podemos asegurar completamente su resistencia, por lo que se considera como una barra empotrada-articulada.
  - o Plano  $xz$ : se ha seleccionado una  $\beta = 1,4$ . Esto se debe a que en este plano no se dispone de ningún cerramiento por lo que se consideran todos los pórticos interiores traslacionales en su plano. Se ha elegido ese coeficiente ya que el nudo inferior está empotrado y el superior, aunque es rígido, sufre grandes desplazamientos, por lo que se podría considerar como una barra a mitad camino entre empotrada-articulada y en ménsula.
- Para los pilares de los pórticos de fachada se ha seguido un criterio similar al anterior pero teniendo en cuenta que al estar arriostrados con la viga contra viento y la Cruz de San Andrés los desplazamientos de la cabeza de pilar serán menores.
  - o Plano  $xy$ :  $\beta = 0,7$ .
  - o Plano  $xz$ :  $\beta = 0,7$ .
- En los cordones de las celosías se han usado los siguientes coeficientes:
  - o Plano  $xy$ :  $\beta = 0,14$ . Se ha elegido este coeficiente ya que las celosías están arriostradas en este plano por las correas de cubierta, de forma que suelen adoptarse coeficientes entre 0,1 y 0,2.

- Plano  $xz$ :  $\beta = 1$ . Esto se debe a que aunque los pórticos están biempotrados sufren grandes desplazamientos.
- En las barras de relleno de las celosías se han elegido valores unitarios para ambos coeficientes, ya que son barras biarticuladas:
  - Plano  $xy$ :  $\beta = 1$ .
  - Plano  $xz$ :  $\beta = 1$ .
- En las vigas de atado se ha considerado los siguientes coeficientes:
  - Plano  $xy$ :  $\beta = 0$ . Se ha elegido este coeficiente ya que estas vigas suelen trabajar a tracción y además, este plano coincide con el del cerramiento.
  - Plano  $xz$ :  $\beta = 1$ . En este plano los extremos se consideran articulados a los pórticos.

En cuanto al pandeo lateral, se ha despreciado este efecto en todas las barras ya que se considera que no se cumplen las condiciones necesarias para que se de este fenómeno.

### **7.2.7 Introducción de los límites de flecha**

Para cumplir con las exigencias que establece el CTE sobre la Aptitud de Servicio se marcan unos límites a los desplazamientos de las barras pertenecientes a la estructura principal de la nave. Siguiendo el documento correspondiente del CTE se ha procedido de la siguiente forma:

- En todas las jácenas se ha establecido un límite de flecha relativa en el *plano*  $xz$  de  $L/300$ .
- En todos los pilares se ha establecido un límite de flecha relativa en ambos *planos*  $xy$  y  $xz$  de  $L/250$ .

### **7.2.8 Optimización de la estructura**

Una vez llegados a este punto, sólo nos queda realizar las verificaciones de los perfiles elegidos para cada barra y comprobar si puede optimizarse en algún punto, o por el contrario, si no cumple alguna condición y hubiera que aumentarlo. Para ello, no hemos más que clicar en el botón de “calcular” y CYPE realizará todas las comprobaciones por nosotros.

Tras realizar las verificaciones oportunas, el programa nos muestra de forma visual que barras no cumplen, en color rojo, y que barras sí que cumplen, en color verde. De esta forma, clicando cada barra aparece una ventana donde se genera un lista con todos los perfiles de la serie y sus valores de peso, aprovechamiento estructural y aprovechamiento de la flecha máxima. Además, en la misma lista se muestra cual es el primer perfil de la serie que cumpliría todos los requisitos, por lo que es fácil pensar que el procedimiento a seguir simplemente es ir entrando en cada barra que no cumple y clicar sobre el primer perfil de la serie que aparece en verde. Sin embargo, aunque es un método rápido para obtener una estructura que cumpla requisitos de resistencia, no sería la más optimizada posible en cuanto a peso, ya que al modificar un elemento este cambio afectará al resto de la estructura.

Por tanto, para obtener una estructura optimizada, se seguirán los siguientes pasos:

## TRABAJO FIN DE GRADO

- Primero nos fijamos en los pilares de la estructura que aparecen en rojo. Clicamos en uno de ellos y elegimos el perfil que menor peso tenga dentro del rango de los perfiles que cumplen con las verificaciones.
- El siguiente paso es calcular de nuevo la estructura y una vez finalizadas las verificaciones se comprobará que realmente dicho perfil es el de menor peso posible. Si es así, se pasará al pilar siguiente y se realizará el mismo proceso. Cuando todos los pilares estén en “verde” se comprobará que todos ellos tienen el menor peso posible de la serie.
- Una vez hecho esto para todos los pilares se procede de la misma forma para el resto de elementos de la estructura que aparezcan en rojo, yendo barra por barra de forma individual.
- Igual que antes, cuando toda la estructura esté en “verde” se comprobará que realmente cada barra es la de menor peso posible, ya que es posible que las modificaciones en los dinteles produzca cambios en los esfuerzos de los pilares.
- Este proceso se repite de forma iterativa hasta que ya no se puede reducir más ningún perfil sin provocar el no cumplimiento de alguna barra.

## 8 Diseño final

Tras desarrollar toda la implementación de la estructura en CYPE, realizar el pre-dimensionado de las barras y una severa optimización elemento por elemento, se ha obtenido un diseño ligeramente diferente al propuesto inicialmente, que cumple con todas las verificaciones exigidas por el CTE, y además presenta la característica de tener el menor peso posible.

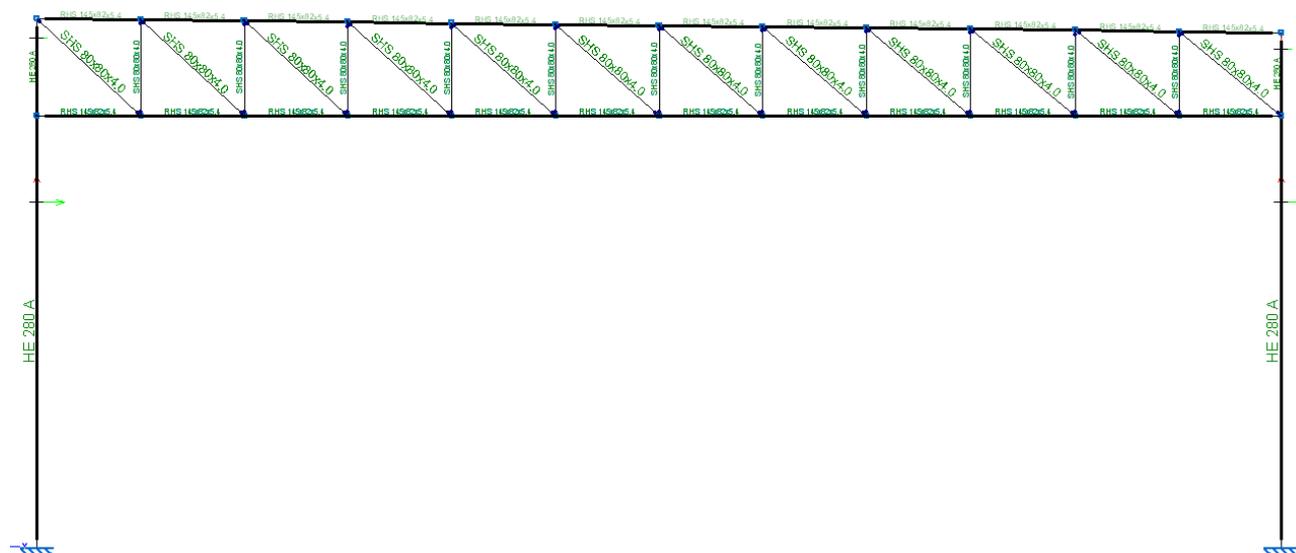
Sin embargo, por motivos puramente económicos y facilidad a la hora de suministro se ha intentado generar el menor número de perfiles posible, por lo que para el diseño final se han agrupado las barras por tipos, seleccionando siempre el perfil para el caso más restrictivo. Por ejemplo, en el caso de los pilares, hay algún pórtico que con un HEA 240 puede cumplir, pero el más restrictivo exige un HEA 280, por lo que en este caso se seleccionan todos los pilares como HEA 280.

A continuación se muestra el diseño definitivo que se montará en obra.

### 8.1 Pórtico interior

Los pórticos interiores no tienen todas las mismas separaciones entre ellos, por lo que para el dimensionado se ha mostrado especial interés en el pórtico cuya separación es la mayor, que se corresponde con el tercer pórtico comenzando desde la fachada norte de la nave.

Inicialmente se había propuesto perfiles HEA 240 para los pilares y una viga en celosía con perfiles tubulares. El diseño final es el siguiente:



*Ilustración 17: Pórtico Interior.*

Este diseño consta de:

- Perfiles **HEA 280** para los pilares.
- Perfiles tubulares **RHS 145 x 82 x 5,4** para los cordones de la celosía.
- Perfiles tubulares **SHS 80 x 80 x 4** para las barras de relleno de la celosía.

## 8.2 Pórtico de fachada

Para el pórtico de fachada se optó por la solución con doble CSA al mismo nivel. Se eligieron durante el pre-dimensionado perfiles HEA 240 para los pilares de las esquinas, IPE 360 para los pilarillos hastiales, perfiles tubulares para la viga en celosía y tirantes para la CSA.

El diseño final es el siguiente:

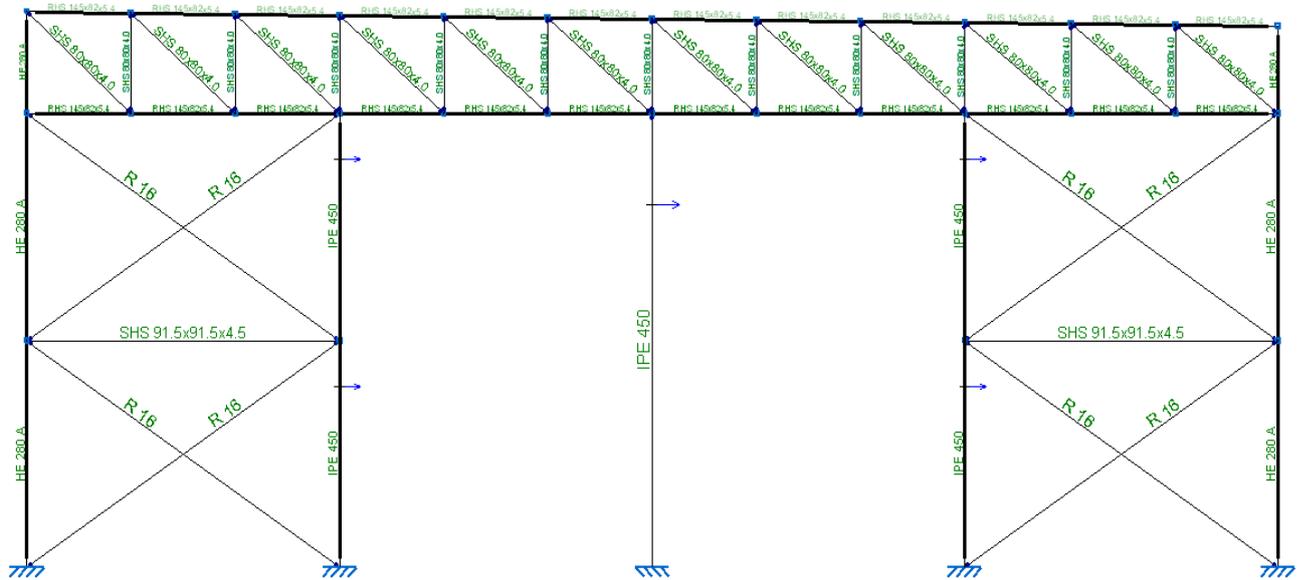


Ilustración 18: Pórtico de fachada.

El diseño consta de:

- Perfiles **HEA 280** para los pilares de las esquinas.
- Perfiles **IPE 450** para los pilarillos hastiales.
- Perfiles tubulares **RHS 145 x 82 x 5,4** para los cordones de la celosía.
- Perfiles tubulares **SHS 80 x 80 x 4** para las barras de relleno de la celosía.
- Perfiles tubulares **SHS 91,5 x 91,5 x 4,5** para los bastidores de la CSA.
- Tirantes **R 16** para la CSA.

## 8.3 Arriostramientos y cubierta

Como solución al arriostramiento en la cubierta se eligieron inicialmente CSA formadas por tirantes R 16 y enmarcada por montantes con perfiles IPE 100, sin embargo, estos montantes no sufrían prácticamente ningún esfuerzo por lo que para disminuir el peso se ha decidido usar perfiles tubulares.

En cuanto al arriostramiento lateral y las vigas de atado, inicialmente se propuso tirantes R 22 y vigas IPE 100, sin embargo se ha decidido usar tirantes R 16 para unificar el pedido ya que este modelo también cumple con los criterios.

A continuación se muestran ambos diseños:

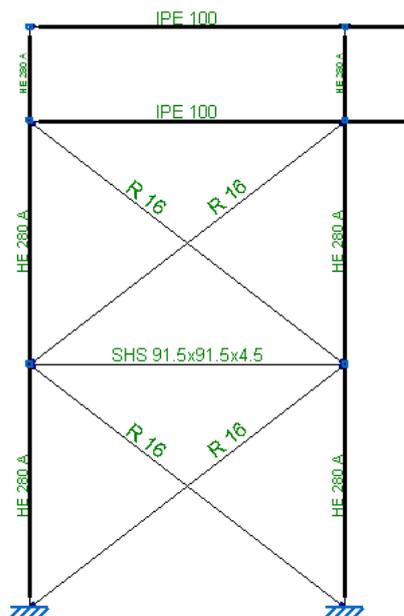


Ilustración 20: Arriostramiento lateral.

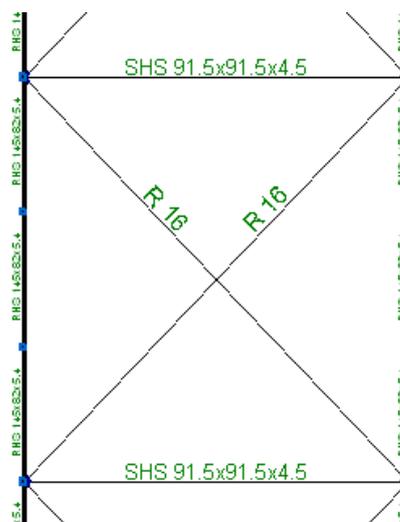


Ilustración 19: CSA en la cubierta.

El diseño consta de:

- **Tirantes R 16** en todas las Cruces de San Andrés.
- Montantes tubulares cuadrados **SHS 91,5 x 91,5 x 4,5** para enmarcar las CSA.
- Doble viga perimetral de atado tipo **IPE 100**.

En las imágenes siguientes se muestra una vista de la cubierta y del lateral de la nave al completo.

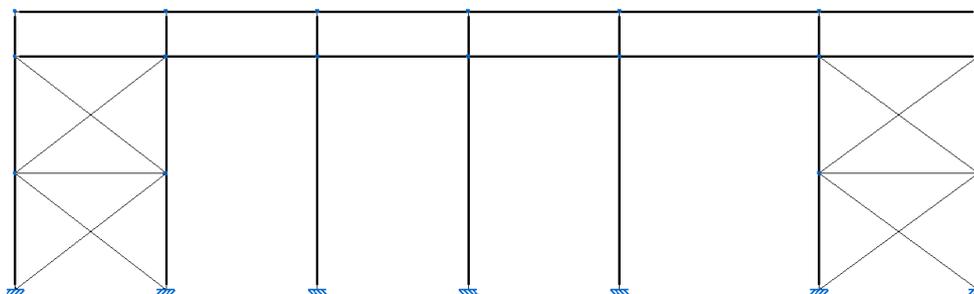


Ilustración 21: Vista del lateral de la nave.

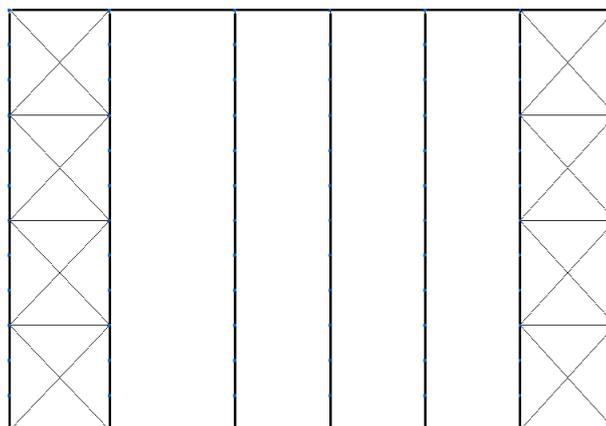


Ilustración 22: Vista de la cubierta de la nave.

### 8.4 Diseño de las placas de anclaje

Una vez se tiene toda la estructura dimensionada de forma definitiva, el programa permite calcular las uniones entre las barras y las placas de anclaje. En este apartado se va a detallar las uniones de los pilares a su cimentación, es decir, sus placas de anclaje.

El material elegido se compone de acero corrugado B-400S para los pernos y barras lisas de acero S275. Se presentan 4 tipologías diferentes para las placas de anclaje: pilares de esquina, pilarillos hastiales, pilares de los pórticos adyacentes a los pórticos de fachada y pilares de los tres pórticos centrales.

Antes de mostrar los detalles de cada placa, se ha realizado una tabla resumen con las características del despiece de cada anclaje.

		Pilares esquina	Pilarillos hastiales	Pilares pórticos segundos	Pilares pórticos centrales
<b>Placa base</b>	Ancho x	450 mm	500 mm	450 mm	550 mm
	Ancho y	450 mm	800 mm	450 mm	550 mm
	Espesor	25 mm	25 mm	25 mm	25 mm
<b>Disposición</b>	Posición X	Centrada	Centrada	Centrada	Centrada
	Posición Y	Centrada	Centrada	Centrada	Centrada
<b>Rigidizadores</b>	Paralelos a X Nº/Espesor	0/0	0/0	0/0	0/0
	Paralelos a Y Nº/Espesor	2 / 5 mm	2 / 10 mm	2 / 8 mm	2 / 8 mm
	Altura En perfil/en borde	100 mm / 0 mm	200 mm / 25 mm	150 mm / 0 mm	180 mm / 0 mm
<b>Pernos</b>	Anclaje al hormigón	Prolongación recta	Prolongación recta	Prolongación recta	Prolongación recta
	Nº	10	12	12	12
	Diámetro	20 mm	25 mm	20 mm	25 mm
	Longitud	45 cm	65 cm	55 cm	60 cm
	Distancia al borde	45 mm	60 mm	45 mm	45 mm

*Tabla 6: Características de placas de anclaje.*

A continuación se muestra el detalle del despiece de cada placa:

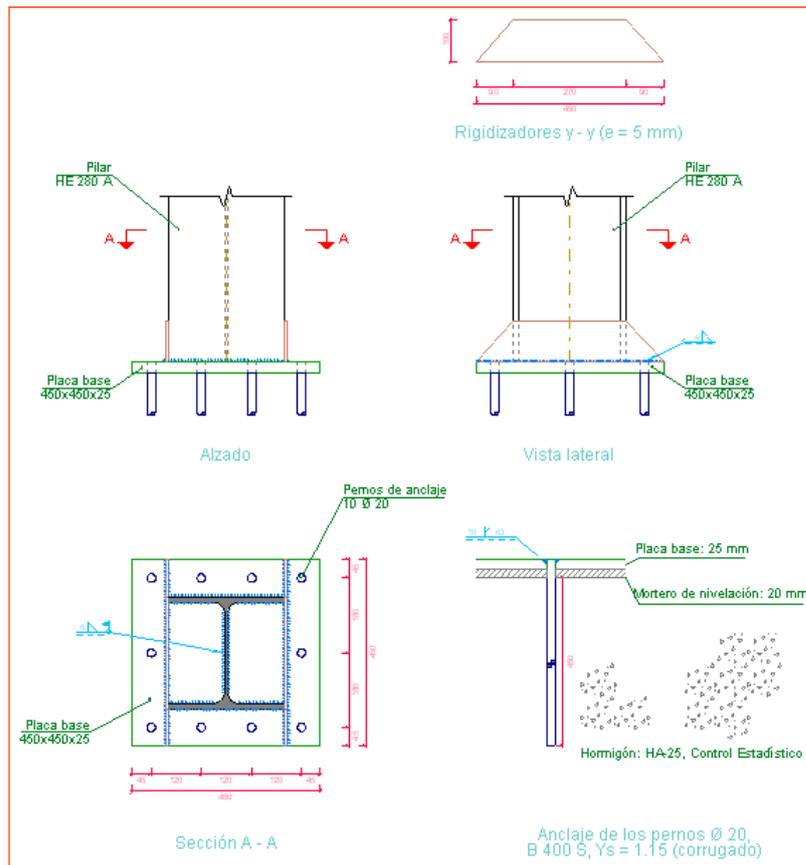


Ilustración 23: Anclaje pilares esquina.

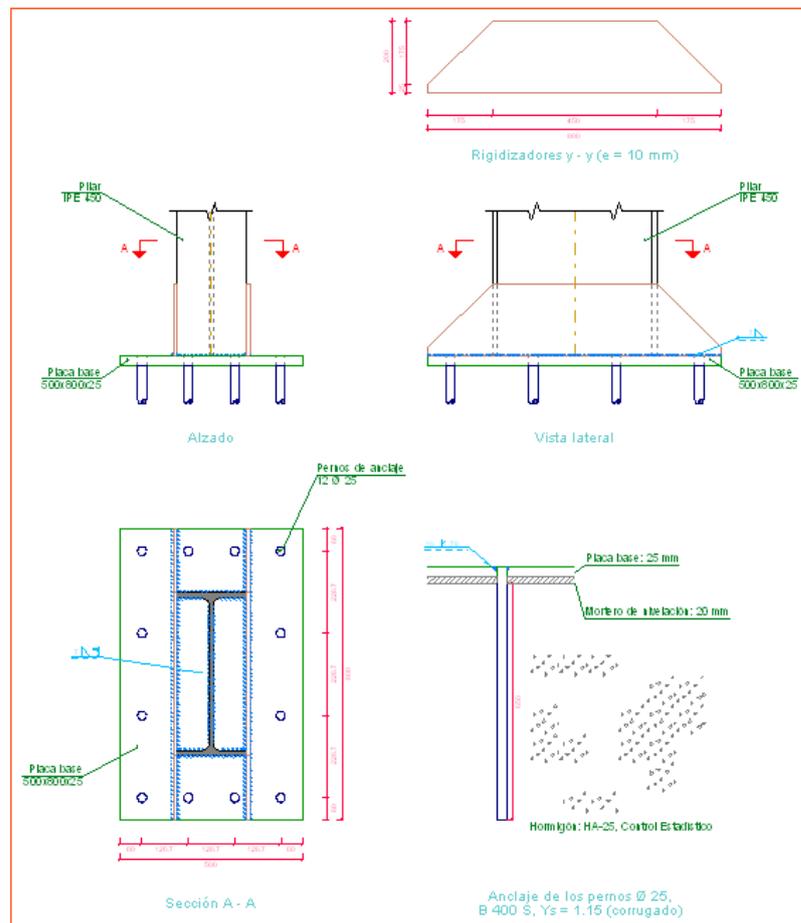


Ilustración 24: Anclaje pilarillos hastiales.

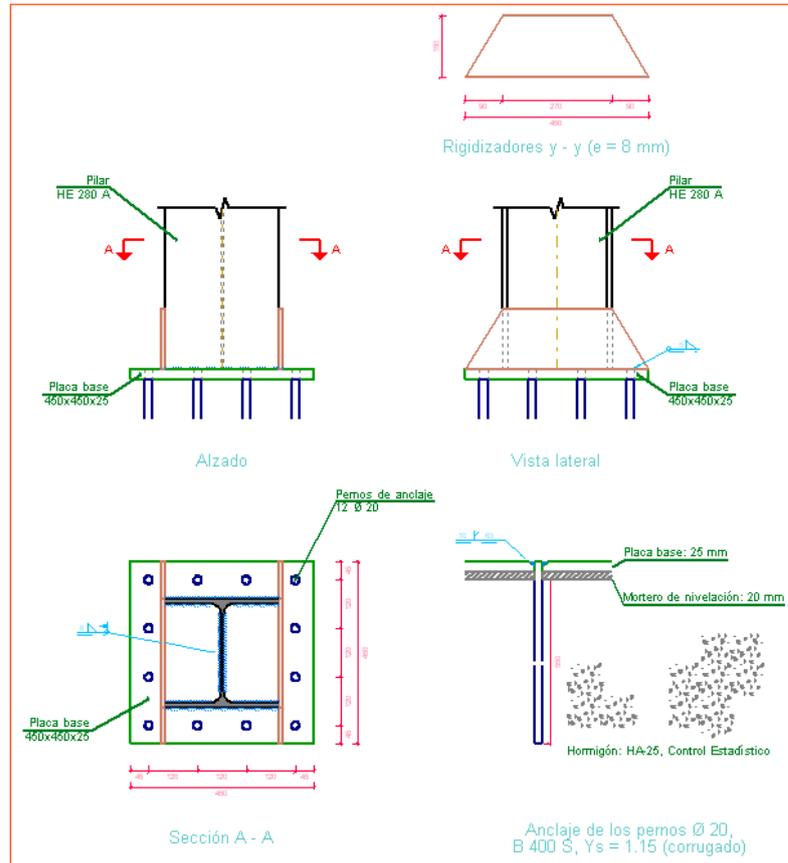


Ilustración 25: Anclaje pilares pórticos segundos.

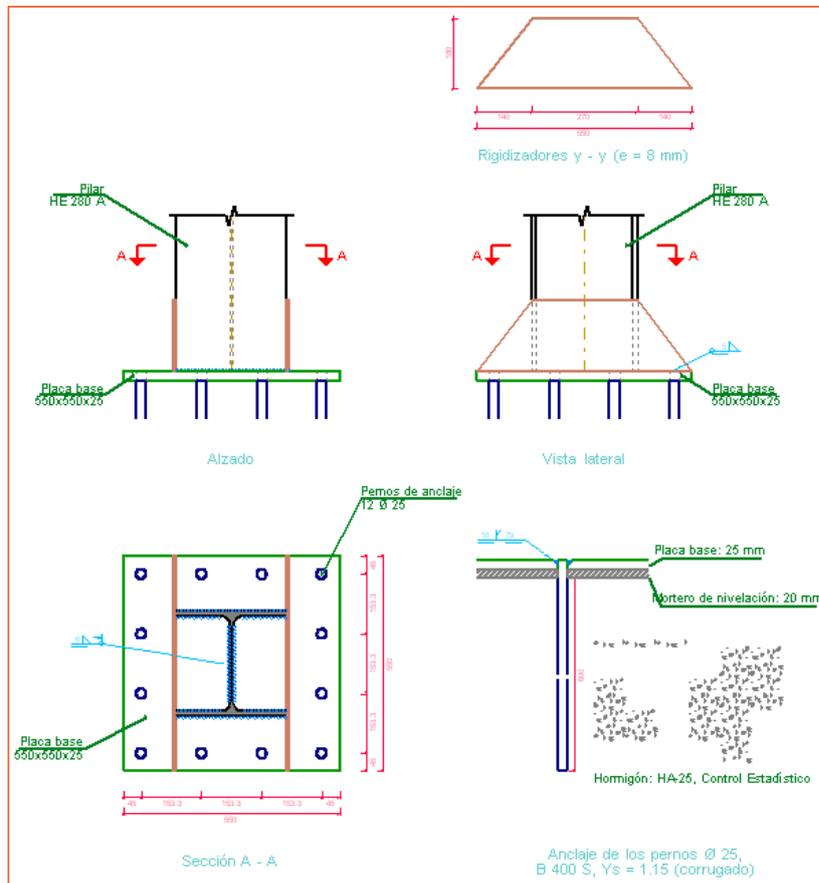


Ilustración 26: Anclaje pilares pórticos centrales.

## 8.5 Diseño de la cimentación

Llegados a este punto, con la estructura bien definida y las placas de anclaje ya dimensionadas, solamente queda calcular la base que sustentará todo lo realizado: la cimentación.

Para este caso, se han elegido zapatas cuadradas o rectangulares aisladas, sin vigas de atado entre ellas, ya que los momentos generados en la base de los perfiles no son muy altos. Además, la capacidad portante del suelo, aproximada a través de un estudio geotécnico realizado en la zona recientemente, indica una tensión admisible de  $0,51 \text{ kg/cm}^2$ , un valor relativamente bajo teniendo en cuenta que la Refinería se encuentra prácticamente a nivel de mar. Esto provocará unas zapatas grandes en comparación con los perfiles elegidos.

En cuanto al proceso de dimensionado, se han intentado unificar la tipología de las zapatas al mayor número de pilares posible, por facilidades a la hora de la ejecución de la obra civil. Es por ello que finalmente se han diseñado tres tipos de zapatas diferentes:

- Zapata tipo A: Se ha elegido para los pilares de la esquina y sus adyacentes del pórtico segundo una zapata combinada que coge los dos pilares, cuyas dimensiones son de  $800 \times 320 \times 80 \text{ cm}$ .
- Zapata tipo B: Para los pilares de los tres pórticos centrales se ha elegido una zapata cuadrada de  $340 \times 340 \times 80 \text{ cm}$ .
- Zapatas tipo C: Para los pilarillos hastiales se han elegido zapatas cuadradas de  $370 \times 370 \times 80 \text{ cm}$ .

A continuación se muestra una imagen donde puede verse a que pilares corresponde cada tipo de zapata, además del despiece de cada tipo de zapata.

# TRABAJO FIN DE GRADO

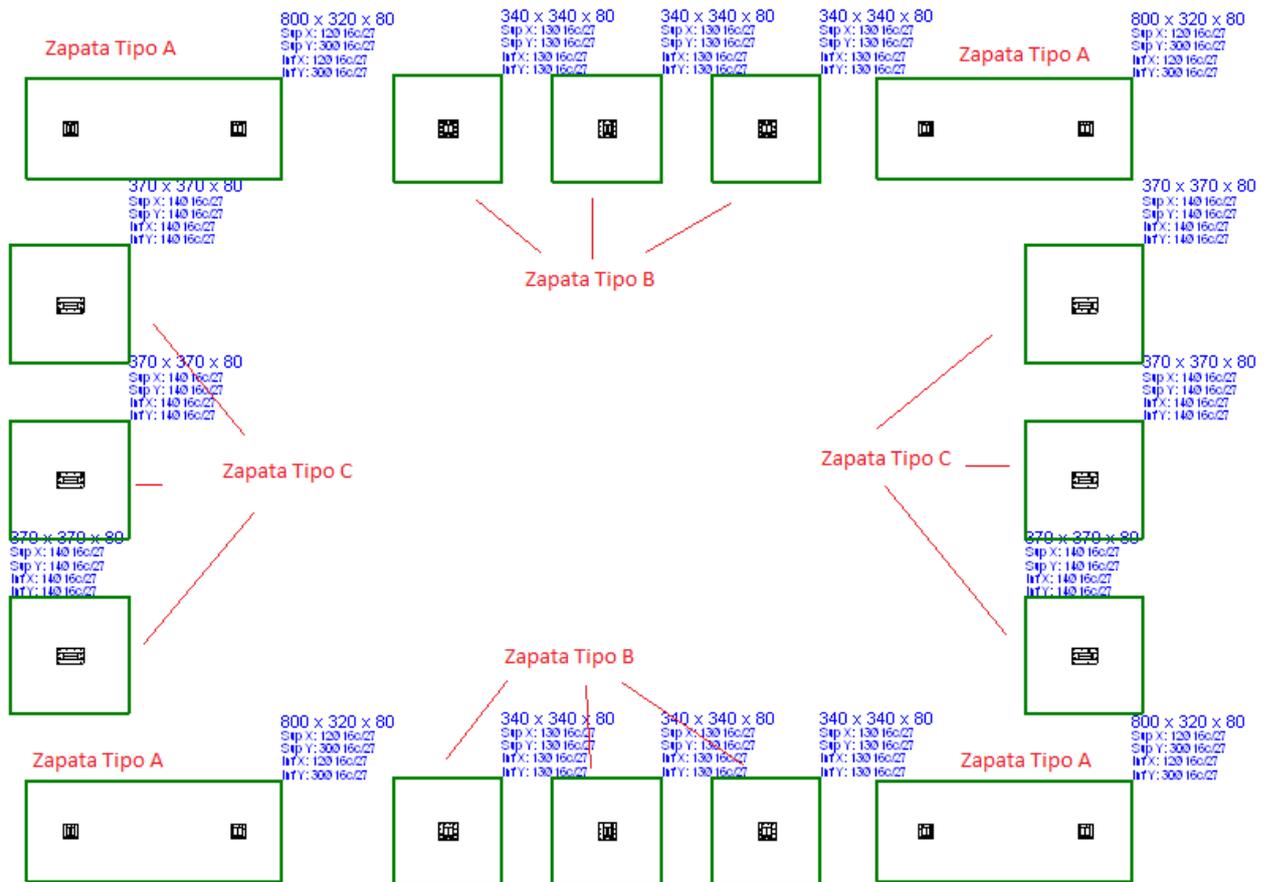


Ilustración 27: Vista general de las zapatas.

Como material para los tres tipos de zapatas se usará hormigón armado clase HA-30 con control estadístico y acero B 500 S con control normal. A continuación puede verse el despiece de cada tipo de zapata.

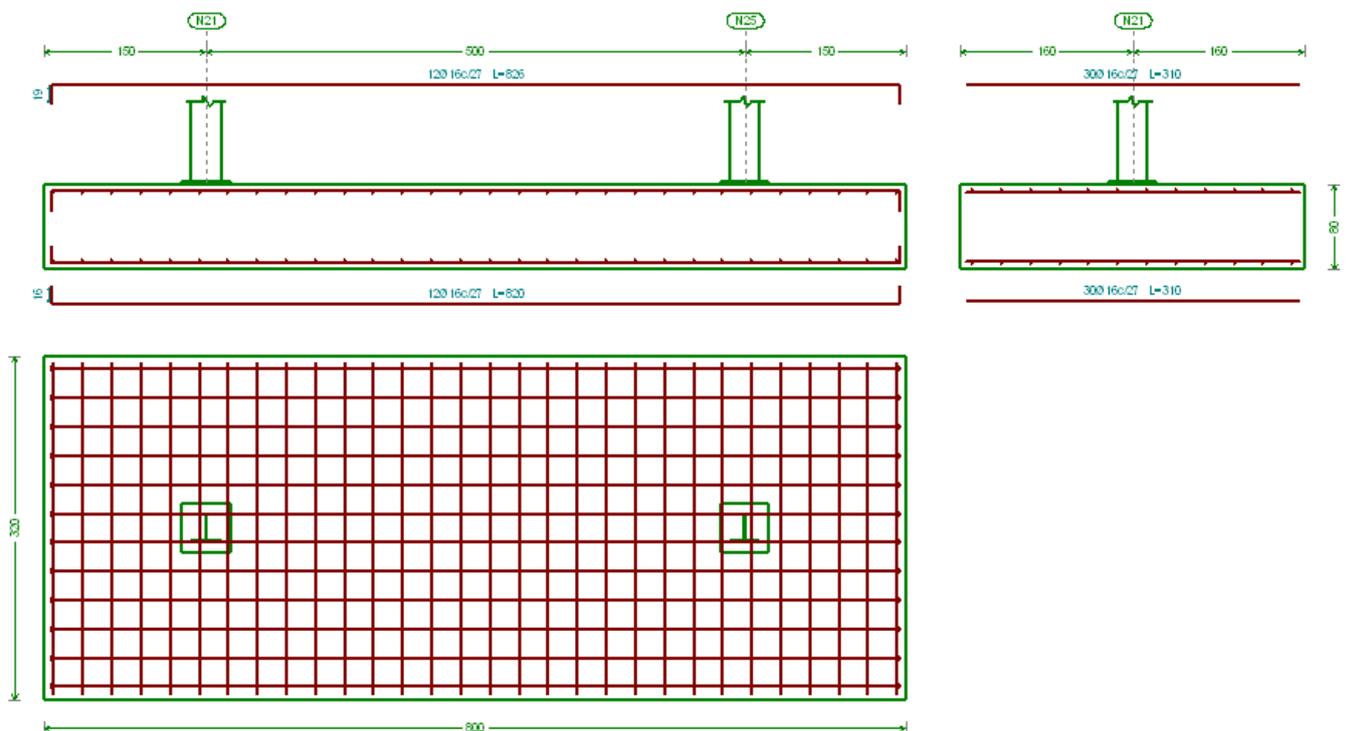


Ilustración 28: Despiece zapata tipo A.

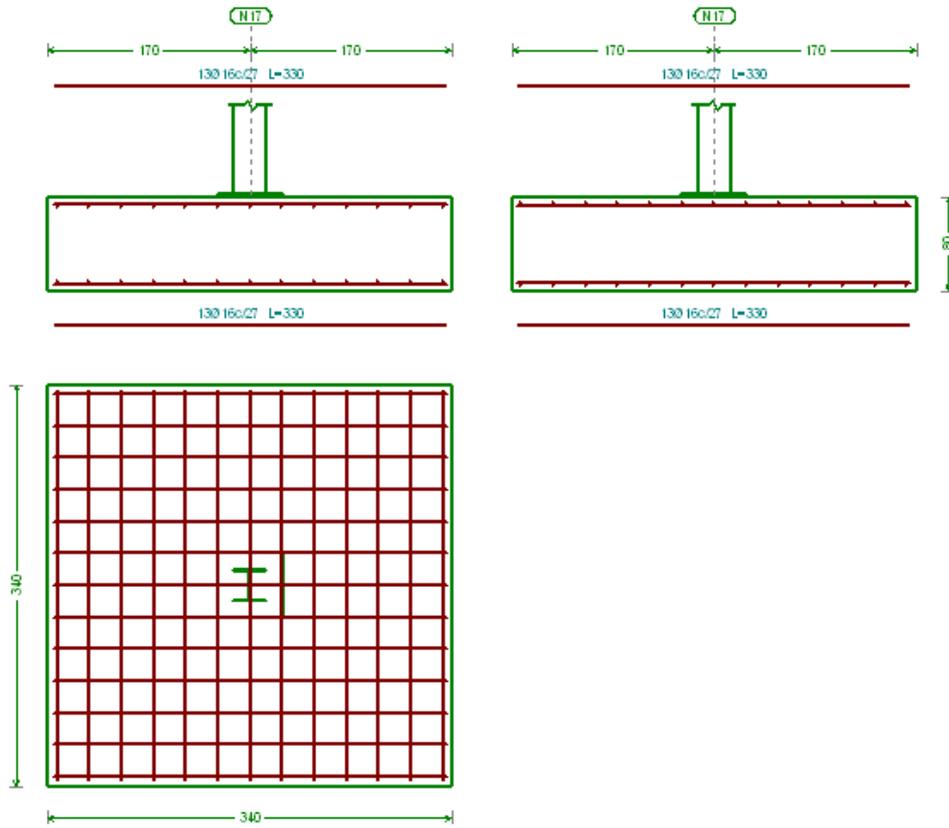


Ilustración 29: Despiece zapata tipo B.

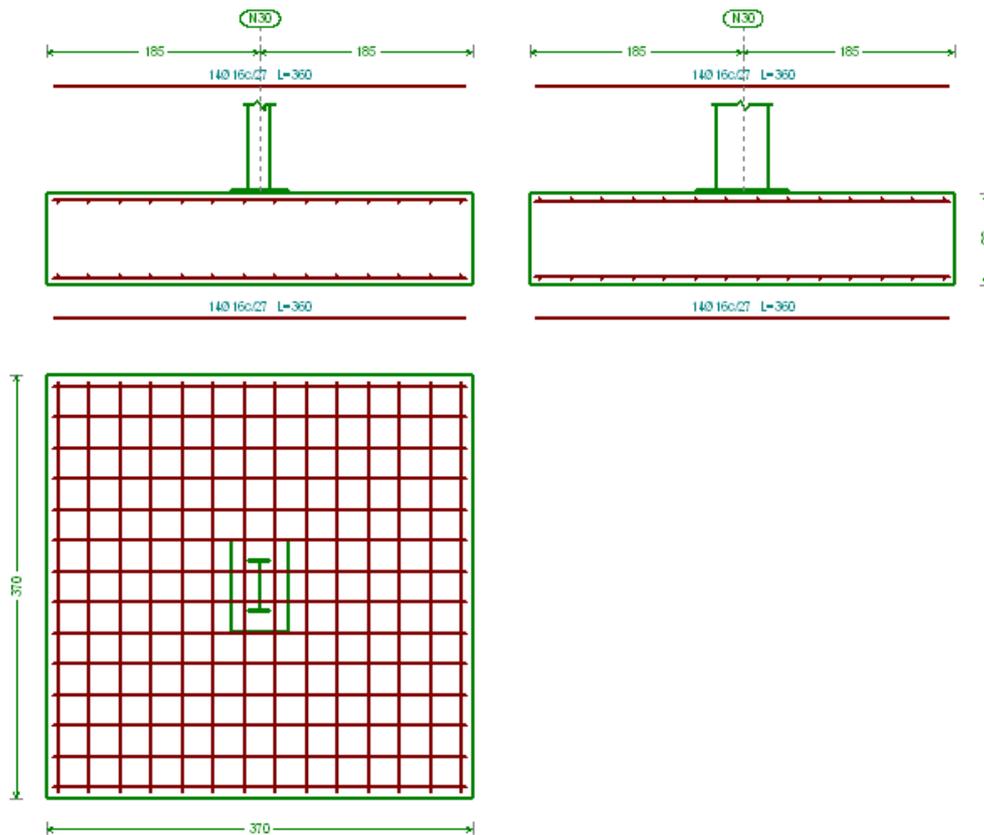
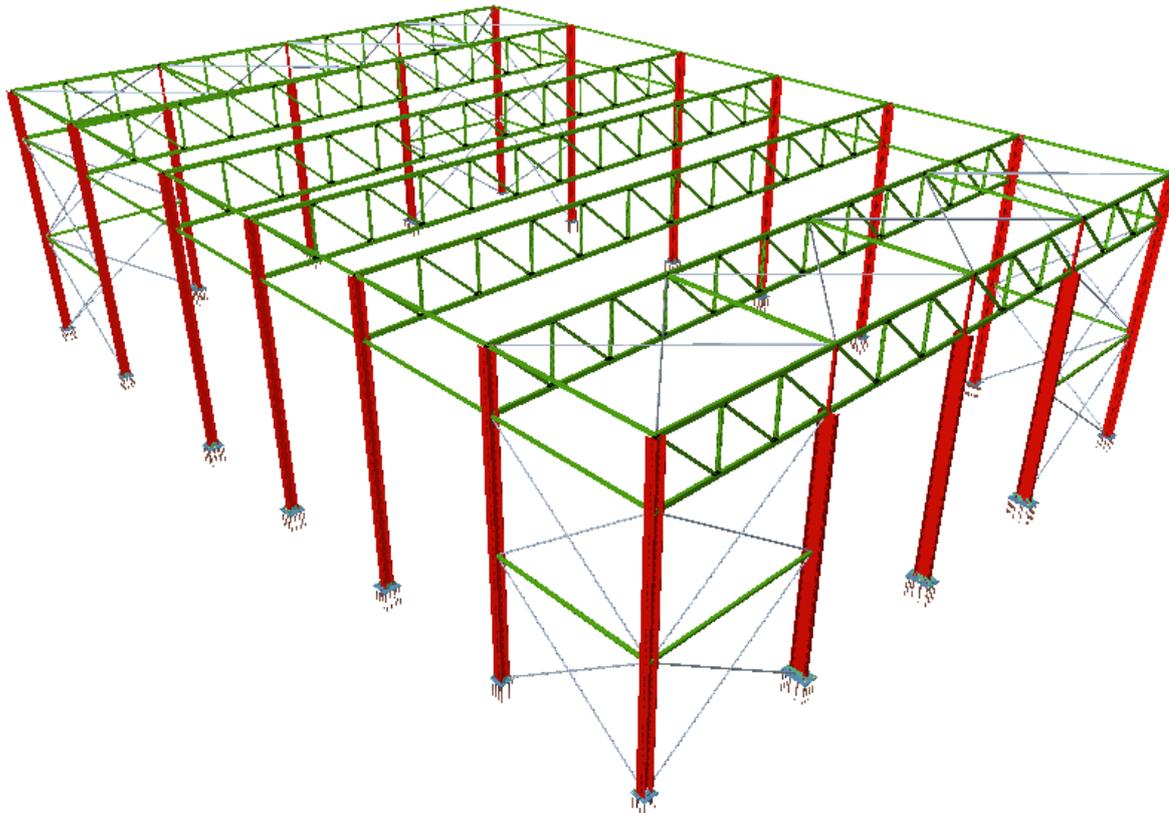


Ilustración 30: Despiece zapata tipo C.

### 8.6 Vista 3D de la estructura y tabla resumen de diseño

A continuación se muestra un vista 3D del renderizado de la estructura, donde puede observarse la geometría real de cada perfil.



*Ilustración 31: Vista 3D de la estructura.*

También se ha realizado una tabla resumen dónde puede verse cada tipo de elemento estructural con su criterio de fallo, representando la combinación en la que se da y el aprovechamiento máximo resultante.

Grupo de elemento	Perfil	Combinación	Criterio de fallo	$\eta$ , max
Correas en cubierta	CF 200x3.0	$0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(180^\circ) H1$	Flexión eje Y (My)	97,7%
Correas en laterales	CF 200x3.0	$0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(0^\circ) H2$	Flexión eje Y (My)	87,8%
Pilares en esquina	HEA 280	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ) H3$	Flexión y axil (NMyMz)	33,2%
Pilar pórtico interior	HEA 280	$1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ) H2 + 0.75 \cdot N(EI)$	Flexión y axil (NMyMz)	82,0%
Pilarillos hastiales	IPE 450	$1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ) H2 + 0.75 \cdot N(EI)$	Flexión y axil (NMyMz)	79,5%
Cordón de celosía	RHS 145x82x5.4	$PP + 0.5 \cdot V(0^\circ) H2$	Flexión y axil (NMyMz)	88,8%
Barra relleno celosía	SHS 80x80x4.0	$PP + 0.5 \cdot V(0^\circ) H2$	Flexión y axil (NMyMz)	90,6%
Tirante CSA	R 16	$PP + 0.5 \cdot V(0^\circ) H4$	Tracción (N)	80,1%
Montante CSA	SHS 91.5x91.5x4.5	$PP + 0.5 \cdot V(0^\circ) H4$	Flexión y axil (NMyMz)	70,5%

*Tabla 7: Tabla resumen con el criterio de fallo de cada elemento.*

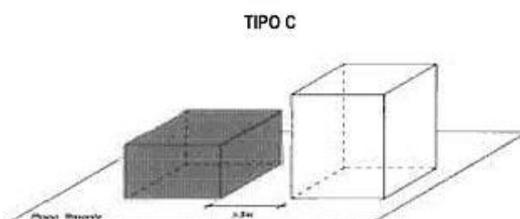
## 9 Protección contra incendio

En este apartado va a realizarse una descripción de las instalaciones contra incendio necesarias en la construcción industrial diseñada en este trabajo. Para ello, se ha seguido el RD 2267/2004 con su Reglamento de Seguridad Contra Incendio en los Establecimientos Industriales (RSCIEI en adelante).

Como ya se ha comentado previamente, la nave calculada corresponde a una ampliación de un almacén formado por dos naves adosadas, de forma que el conjunto total es un espacio diáfano y corresponde con un único sector de incendio.

### 9.1 Caracterización del establecimiento

Según la configuración y ubicación del almacén, se ha caracterizado como edificio TIPO C; esto se debe a que el establecimiento ocupa totalmente un edificio sobre rasante, que dista más de tres metros del edificio más próximo y dicha distancia está libre de elementos propagadores de incendio.



*Ilustración 32: Establecimiento tipo C.*

Para la evaluación de la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida,  $Q_s$ , se ha utilizado la siguiente fórmula, que aplica a actividades de almacenamiento, puesto que no hay ninguna actividad de producción dentro del establecimiento:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{vi} \cdot C_i \cdot h_i \cdot s_i}{A} \cdot R_a \quad \left( \text{MJ}/\text{m}^2 \right)$$

Dónde:

$Q_s$ : Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector de incendio, en  $\text{MJ}/\text{m}^2$ .

$q_{vi}$ : carga de fuego, aportada por cada  $\text{m}^3$  de cada zona con diferente tipo de almacenamiento, en  $\text{MJ}/\text{m}^3$ .

$C_i$ : coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles que existen en el sector de incendio.

$h_i$ : altura del almacenamiento de cada uno de los combustibles, en m.

$s_i$ : superficie ocupada en planta por cada zona con diferente tipo de almacenamiento existente en el sector de incendio en  $\text{m}^2$ .

$A$ : superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en  $\text{m}^2$ .

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Ra: coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio.*

De esta forma, se han diferenciado dos tipos de almacenaje diferentes para los cálculos:

- Por un lado se tienen estanterías de acero, con densidad de carga de  $150 \text{ MJ/m}^3$ , suponiendo que el material incombustible se encuentra almacenado en pallets de madera y atendiendo a la Fe de erratas del Reglamento, distribuidas de la siguiente forma:

- Nave antigua (20x20m): Se distribuyen 18 estanterías de base  $12 \times 1 \text{ m}$ , con altura de 6 m. Pasillos de 2 m.

$$\text{Área } (h=6\text{m}) = 18 \times 12 \times 1 = 216 \text{ m}^2$$

- Nave antigua (25x32m): Se distribuyen 20 estanterías de  $12 \times 1 \text{ m}$ , con altura de 6 m y 10 estanterías de  $12 \times 1 \text{ m}$  con altura de 8m.

$$\text{Área } (h=6\text{m}) = 20 \times 12 \times 1 = 240 \text{ m}^2$$

- Nave nueva (25x32m): Se distribuyen 10 estanterías de  $12 \times 1 \text{ m}$  con altura de 8m, ocupando la mitad de la nave únicamente. Pasillos de 2 m.

$$\text{Área } (h=8\text{m}) = 10 \times 12 \times 1 = 120 \text{ m}^2$$

**Superficie Total Acero: 576 m<sup>2</sup>**

- Por otro lado, se tienen estanterías para almacenaje de material eléctrico, con densidad de carga de  $400 \text{ MJ/m}^3$ , distribuidas en mitad de la nave nueva con un total de 22 estanterías de  $10 \times 0,5 \text{ m}$ , altura de 2,5 m. Pasillos de 1 m.

$$\text{Área } (h=2,5\text{m}) = 22 \times 10 \times 0,5 = 110 \text{ m}^2$$

**Superficie Total Material Eléctrico: 110 m<sup>2</sup>**

Considerando la distribución de almacenaje y la fórmula anterior, se obtienen las siguientes cargas de fuego en MJ:

Materia	qvi (MJ/m3)	hi (m)	si (m2)	Ci	Carga fuego (MJ)
Acero naves antiguas	150	6	456	1,6	656.640,00
Acero mitad nave nueva	150	8	120	1,6	230.400,00
Electricidad mitad nave nueva	400	2,5	110	1,3	143.000,00
<b>TOTAL</b>					<b>1.030.040,00</b>

Tabla 8: Carga de fuego total en MJ.

Considerando las tres naves como un único sector de incendio suponen una superficie total de 2000 m<sup>2</sup>, así se obtiene una carga de fuego total en MJ/m<sup>2</sup>:

Superficie Sector (m2)	2.000,00
Carga fuego (MJ)	1.030.040,00
Ra	2,00
Carga fuego (MJ/m2)	1.030,04

Tabla 9: Carga de fuego del sector en MJ/m2.

Con este valor, el Reglamento indica un **Nivel de Riesgo Intrínseco Medio 3**. Este es el dato que se necesita para continuar el dimensionado de los sistemas de protección contra incendios.

Nivel de riesgo intrínseco	Densidad de carga de fuego ponderada y corregida		
	Mcal/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	
BAJO	1	$Q_s \leq 100$	$Q_s \leq 425$
	2	$100 < Q_s \leq 200$	$425 < Q_s \leq 850$
MEDIO	3	$200 < Q_s \leq 300$	$850 < Q_s \leq 1275$
	4	$300 < Q_s \leq 400$	$1275 < Q_s \leq 1700$
	5	$400 < Q_s \leq 800$	$1700 < Q_s \leq 3400$
ALTO	6	$800 < Q_s \leq 1600$	$3400 < Q_s \leq 6800$
	7	$1600 < Q_s \leq 3200$	$6800 < Q_s \leq 13600$
	8	$3200 < Q_s$	$13600 < Q_s$

Tabla 10: Nivel de Riesgo Intrínseco.

9.2 Requisitos constructivos

A) **Sectorización del establecimiento**

En función del nivel de riesgo intrínseco obtenido en el apartado anterior, el sector de incendio constituirá un área máxima indicada por el Reglamento. En este caso, al ser Nivel Medio 3, el área máxima de incendio es de 5000 m<sup>2</sup>. Al ser el sector evaluado de 2000 m<sup>2</sup>, se cumple la normativa.

Riesgo intrínseco del sector de incendio	Configuración del establecimiento		
	TIPO A (m <sup>2</sup> )	TIPO B (m <sup>2</sup> )	TIPO C (m <sup>2</sup> )
BAJO 1 2	(1)-(2)-(3) 2000 1000	(2) (3) (5) 6000 4000	(3) (4) SIN LÍMITE 6000
MEDIO 3 4 5	(2)-(3) 500 400 300	(2) (3) 3500 3000 2500	(3) (4) 5000 4000 3500
ALTO 6 7 8	NO ADMITIDO	(3) 2000 1500 NO ADMITIDO	(3)(4) 3000 2500 2000

Tabla 11: Superficie máxima del sector.

B) **Estabilidad al fuego de los elementos constructivos portantes**

Las exigencias de comportamiento ante el fuego de un elemento constructivo portante se definen por el tiempo en minutos durante el que dicho elemento debe mantener la estabilidad mecánica.

La estabilidad al fuego de los elementos estructurales con función portante y escaleras que sean recorrido de evacuación no tendrá un valor inferior al indicado en la siguiente tabla:

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO	TIPO A		TIPO B		TIPO C	
	Planta sótano	Planta sobre rasante	Planta sótano	Planta sobre rasante	Planta sótano	Planta sobre rasante
BAJO	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)	R 90 (EF - 90)	R 60 (EF - 60)	R 60 (EF - 60)	R 30 (EF - 30)
MEDIO	NO ADMITIDO	R 120 (EF - 120)	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)	R 90 (EF - 90)	R 60 (EF - 60)
ALTO	NO ADMITIDO	NO ADMITIDO	R 180 (EF - 180)	R 120 (EF - 120)	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)

Tabla 12: Estabilidad al fuego de los elementos estructurales portantes.

Para los elementos estructurales con función portante del almacén, atendiendo a su nivel de riesgo intrínseco, se obtiene una **estabilidad R 60**, es decir, debe aguantar 60 minutos su capacidad portante frente al fuego.

En cuanto a la estructura principal de cubiertas ligeras y sus soportes en plantas sobre rasante, atendiendo a su nivel de riesgo intrínseco y a la condición de no prever estas como medios de evacuación y que su fallo no pueda ocasionar daños graves, se obtiene una **estabilidad R 15**, lo que indica un tiempo de capacidad portante de 15 minutos ante el fuego.

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO	Tipo B	Tipo C
	Sobre rasante	Sobre rasante
Riesgo bajo	R 15 (EF-15)	NO SE EXIGE
Riesgo medio	R 30 (EF-30)	R 15 (EF-15)
Riesgo alto	R 60 (EF-60)	R 30 (EF-30)

*Tabla 13: Estabilidad al fuego de estructura principal en cubiertas ligeras.*

Para los elementos constructivos que delimitan el sector de incendio con otros establecimientos (muros colindantes), atendiendo al nivel de riesgo intrínseco se establece una **estabilidad/resistencia de RF 180**, es decir, deben aguantar 180 minutos frente al fuego con capacidad portante.

	Sin función portante	Con función portante
Riesgo bajo	EI 120	REI 120 (RF-120)
Riesgo medio	EI 180	REI 180 (RF-180)
Riesgo alto	EI 240	REI 240 (RF-240)

*Tabla 14: Estabilidad al fuego de elementos constructivos delimitantes.*

### 9.3 Descripción de las instalaciones contra incendios

#### A) Sistemas automáticos de detección de incendios

Según el Reglamento y atendiendo el caso de aplicación, para sectores de incendio en los que se realicen actividades de almacenamiento, estén ubicados en edificio tipo C, su riesgo intrínseco sea de nivel medio y la superficie total construida sea mayor de 1500 m<sup>2</sup>, deberán instalar sistemas automáticos de detección de incendio.

Para este caso en concreto se ha decidido instalar un total de 5 detectores de incendio, cuya ubicación puede verse en el apartado “Planos” de este proyecto.

#### B) Sistemas manuales de alarma de incendio

Según el Reglamento y atendiendo el caso de aplicación, para sectores de incendio en los que se realicen actividades de almacenamiento y la superficie total construida sea mayor de 800 m<sup>2</sup>, deberán instalar sistemas manuales de alarma de incendio.

La distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador no debe ser mayor de 25 m. Atendiendo a las dimensiones del sector de incendio compuesto por las tres naves, sería necesaria la instalación de un total de 6 pulsadores de alarma, cuya ubicación puede verse en el apartado “Planos” de este proyecto.

#### C) Sistemas de comunicación de alarma

Según el Reglamento, sólo se deberá instalar sistemas de comunicación de alarma en los sectores de incendio cuya superficie construida supere los 10.000 m<sup>2</sup>. Atendiendo al caso de aplicación no será necesaria la instalación de estos sistemas.

#### D) Extintores

Se instalarán extintores de incendio portátiles en todos los sectores de incendio del establecimiento.

El extintor será seleccionado según su adecuación a las distintas clases de fuegos en función del material almacenado. En este caso, al ser materias sólidas, se correspondería con un fuego de clase A.

En fuegos que puedan desarrollarse en las cercanías de cuadros o aparatos eléctricos con tensión mayor de 24 V, no se permite el uso de extintores con agentes conductores de electricidad, por lo que se deben usar extintores de dióxido de carbono o polvo seco ABC o BC.

La localización de los extintores debe facilitar su visibilidad y accesibilidad, de forma que estén correctamente señalizados, situados cerca del material combustible, y sujetos mediante soportes verticales con una distancia máxima de 1,70 metros desde el suelo. No debe existir más de 15 m de recorrido desde cualquier punto del sector.

Atendiendo a las características mencionadas se ha decidido usar extintores de polvo polivalente ABC con una eficacia mínima 21 A, como puede verse en la siguiente tabla:

GRADO DE RIESGO INTRÍNSECO DEL SECTOR DE INCENDIO	EFICACIA MÍNIMA DEL EXTINTOR	ÁREA MÁXIMA PROTEGIDA DEL SECTOR DE INCENDIO
BAJO	21 A	Hasta 600 m <sup>2</sup> (un extintor más por cada 200 m <sup>2</sup> , o fracción, en exceso)
MEDIO	21 A	Hasta 400 m <sup>2</sup> (un extintor más por cada 200 m <sup>2</sup> , o fracción, en exceso)
ALTO	34 A	Hasta 300 m <sup>2</sup> (un extintor más por cada 200 m <sup>2</sup> , o fracción, en exceso)

*Tabla 15: Eficacia de extintores en función del Riesgo Intrínseco.*

Se colocarán un total de 8 extintores cuya ubicación puede verse en el apartado “Planos” de este proyecto.

#### E) Sistemas de bocas de incendio equipadas

Según el Reglamento, Se instalarán sistemas de bocas de incendio equipadas en los sectores de incendio de los establecimientos industriales que estén ubicados en edificios tipo C, su nivel de riego intrínseco sea medio y la superficie total construida sea mayor de 1000 m<sup>2</sup>. Atendiendo al caso de aplicación, deberán instalarse este sistema de protección.

En cuanto al tipo de BIE, al tratarse de riesgo intrínseco medio, se instalarán BIE de 25 mm como toma adicional del 45mm y una autonomía de 60 minutos.

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL	TIPO DE BIE	SIMULTANEIDAD	TIEMPO DE AUTONOMÍA
BAJO	DN 25 mm	2	60 min
MEDIO	DN 45 mm*	2	60 min
ALTO	DN 45 mm*	3	90 min

*Tabla 16: Caracterización de las BIE en función del Riesgo Intrínseco.*

Se deberá comprobar que la presión en la boquilla se encuentre entre 2 y 5 bar.

Al tratarse de mangueras de 20 metros de longitud se instalarán un total de 4 BIE's para dar capacidad de extinción a toda la superficie del sector.

## TRABAJO FIN DE GRADO

### F) Sistemas de hidrantes exteriores

Según el Reglamento, se instalará un sistema de hidrantes exteriores si lo exigen las disposiciones vigentes que regulan las actividades industriales del sector; o si ocurren las circunstancias que se reflejan en la siguiente tabla:

Configuración de la zona de incendio	Superficie del sector o área de incendio (m <sup>2</sup> )	Riesgo Intrínseco		
		Bajo	Medio	Alto
A	≥300 >1000	NO SÍ*	SÍ SÍ	
B	≥1000 ≥2500 ≥3500	NO NO SÍ	NO SÍ SÍ	SÍ SÍ SÍ
C	≥2000 ≥3500	NO NO	NO SÍ	SÍ SÍ
D o E	≥5000 ≥15000	SÍ	SÍ SÍ	SÍ SÍ

Tabla 17: Instalación de hidrantes en función del Riesgo Intrínseco y el tipo de establecimiento.

Por tanto al tener una configuración tipo C, una superficie de 2.000 m<sup>2</sup>, y un riesgo intrínseco medio, no será necesario el uso de sistemas hidrantes en el almacén.

### G) Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios

Según el Reglamento, los sistemas de abastecimiento de agua contra incendio se instalarán cuando sea necesario para dar servicio a uno o varios sistemas de lucha contra incendios, como pueden ser las bocas de incendio equipadas (BIE).

Atendiendo al caso de aplicación, al tener necesidad de instalación de BIE, también será necesario el abastecimiento de agua contra incendio.

Al no coexistir distintos sistemas de lucha contra incendio que necesiten de agua para su uso, el único caudal a tener en cuenta para el diseño de esta conexión es el que necesiten las Bocas de Incendio Equipadas. En este caso, la toma de abastecimiento de agua se realizará mediante un picaje al sistema general de refinería contra incendios con una toma a colector de 4 “.

## 9.4 Resumen de las instalaciones

- Caracterización del establecimiento

Superficie Sector (m <sup>2</sup> )	<b>2.000,00</b>
Carga de fuego (MJ/m <sup>2</sup> )	<b>1.030,04</b>
Configuración Edificio	<b>Tipo C</b>
Superficie máx. adm. (m <sup>2</sup> )	<b>5.000,00</b>
Riesgo del sector	<b>Medio 3</b>

*Tabla 18: Resumen de la caracterización del establecimiento.*

- Requisitos constructivos

Estabilidad al fuego de elementos estructurales	<b>R 60</b>
Estabilidad al fuego de elementos de cubierta	<b>R 15</b>
Estabilidad al fuego de elementos delimitadores	<b>RF 180</b>

*Tabla 19: Resumen de los requisitos constructivos.*

- Requisitos de las instalaciones contra incendios

Sistemas automáticos de detección de incendio	<b>SI</b>
Sistemas manuales de alarma de incendio	<b>SI</b>
Sistemas de comunicación de alarma	<b>NO</b>
Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios	<b>SI</b>
Bocas de Incendio Equipadas	<b>SI</b>
Extintores	<b>SI</b>
Sistemas de hidrantes exteriores	<b>NO</b>

*Tabla 20: Resumen de las instalaciones contra incendio.*

### 9.5 Resistencia al fuego de la estructura

El caso de estudio se compone de un único sector de incendio que está separado de otros edificios por lo que sólo habría que tener en cuenta:

- Los pilares, como estructura principal portante, tienen que asegurar un nivel de estabilidad de R 60, por lo que han de aguantar 60 minutos frente al fuego.
- La cubierta de la nave es considerada como ligera ya que su peso propio no excede de 100 kg/m<sup>2</sup>.
- La estructura principal de la cubierta corresponde a las vigas (dintel, cercha), por lo que serán estas las que tienen que asegurar una estabilidad mínima R 15, aguantando 15 minutos frente al fuego.
- Las correas de cubierta no se consideran parte constituyente de la estructura principal de cubierta.
- Al no haber muros que delimiten con otros establecimientos, ningún elemento de la estructura habrá de cumplir con el criterio de estabilidad RF 180.

Por tanto, la condición más restrictiva es la de los pilares que han de aguantar 60 minutos frente al fuego.

El programa CYPE, con el que se ha realizado el diseño y cálculo de la estructura, permite la comprobación frente al fuego de la misma indicando la resistencia necesaria. En este caso, se ha indicado una resistencia mínima de R 60 para toda la estructura y se ha comprobado que no cumpliría la condición para ningún elemento, por lo que es necesario el uso de algún elemento de protección.

Tras tratar este tema con la empresa suministradora de los perfiles y demás elementos estructurales, se ha decidido el uso de una pintura intumescente para proteger la estructura frente al fuego.

En este caso se ha elegido una **pintura intumescente PROMAPAIN-SC4**. Es una pintura monocomponente al agua, exenta de fibras, formulada a base de copolímeros acrílicos para protección de estructuras metálicas. En caso de incendio la pintura crea una espuma aislante protectora que podría proporcionar una resistencia de hasta 90 minutos, por lo que se cumple sobradamente las exigencias del reglamento.

En cuanto a su aplicación, es necesaria una preparación previa de la superficie mediante una imprimación de tipo epoxi de dos componentes con alto contenido en Zinc activado. En este caso se usará el modelo HEMPADUR AVANTGUARD 750.

Tras la aplicación de la pintura también será necesaria una capa de acabado con poliuretano alifático, marca PV TOP DUR COATING PU-01.



*Ilustración 33: Pintura intumescente.*

A continuación se muestra una tabla con las propiedades de la pintura intumescente:

DATOS TÉCNICOS	
Color	Blanco
Consistencia	Líquida
Densidad	$1,30 \pm 0,05 \text{ gr/cm}^3$
Rendimiento teórico	2 Kg/m <sup>2</sup> para 1 mm de espesor seco
Contenido en sólidos	$68 \pm 2\%$
Espesor por mano	Hasta 750 micras de película seca
Contenido VOC	30 gr/l
Temperatura de aplicación	entre 5° y 40 ° C
Secado al tacto	8 horas (1000 micras a 20° C y 50% HR)
Tiempo mínimo entre manos	8 horas para dar la siguiente mano
Viscosidad	entre 44.000 y 66.000 cps

*Tabla 21: Propiedades de la pintura.*

## 10 Presupuesto

En este apartado se muestra un resumen del presupuesto de ejecución del proyecto. Puede verse el estado de mediciones y los costes de cada partida en el apartado “Estado de mediciones y Presupuesto” de este mismo documento.

### Presupuesto de Ejecución de Material (PEM)

Cimentación y anclajes	33.015,24 €
Estructura metálica	124.369,83 €
Cerramientos	80.276,98 €
Protección contra incendios	28.459,08 €
<b>Total</b>	<b>266.121,13 €</b>

### Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)

Presupuesto Ejecución Material	266.121,13 €
Gastos generales 13 %	34.595,75 €
Beneficio Industrial 6 %	15.967,27 €
<b>Total</b>	<b>316.684,15 €</b>
I.V.A. 21 %	66.503,67 €
<b>Total PEC</b>	<b>383.187,82 €</b>

## 11 Conclusiones y trabajos futuros

En este proyecto se ha diseñado y calculado la estructura de una nave industrial, así como una pequeña descripción de las instalaciones contra incendio a colocar para detección y extinción del fuego. Para ello, se ha utilizado un software comercial llamado CYPE que ha permitido realizar el diseño y comprobación de la estructura de acuerdo al Código Técnico de la Edificación vigente, tanto a temperatura ambiente como en caso de incendio.

Como resumen del diseño obtenido se tiene:

- Nave ubicada en la Refinería de Castellón, perteneciente a un conjunto formado por otras dos naves existentes cuya función es la de almacén de material metálico y eléctrico.
- Estructura metálica formada por perfiles normalizados de las clases IPE y HEA para pilares y atados; perfiles tubulares de la clase SHS y RHS para las vigas en celosía y los montantes; y perfiles CF para las correas de cubierta.
- Zapatas rectangulares y cuadradas de hormigón armado clase HA-30 con control estadístico y acero B 500 S con control normal.
- Placas de anclaje con rigidizadores de acero corrugado B-400S para los pernos y barras lisas de acero S275.
- Colocación de 5 detectores y 6 pulsadores de alarma para la detección de incendio.
- Colocación de 8 extintores y 4 BIE's para la extinción del fuego; así como pintura intumescente para la protección de la estructura.

Para llegar al diseño propuesto, se han tenido que tomar una serie de decisiones basadas en un criterio adquirido a lo largo del desarrollo del proyecto. Para ello ha sido necesario el estudio en profundidad de diferentes proyectos de cálculo estructural, así como del manejo del software empleado. A continuación se presentan las decisiones más importantes que han determinado el diseño de la nave:

- Cubierta a un agua con pendiente hacia el lado este de la nave para facilitar la recogida de pluviales.
- Vigas en celosía usando una cercha de perfiles tubulares y siguiendo una tipología Pratt. Esto se ha realizado puesto que al ser la cubierta a un agua y la luz de la nave cercana a los 25 metros, con perfiles simples comerciales se requerían diseños muy grandes que elevaban el peso de la estructura a soportar por los pilares, encareciendo considerablemente el presupuesto.
- Colocación de una doble viga de atado perimetral para mantener las Cruces de San Andrés al mismo nivel y mantener una buena estética.
- Cimentación de zapatas sin vigas de atado debido a los bajos momentos en la base de pilares.

Por último, comentar que el alcance de este proyecto se corresponde con un Trabajo Fin de Grado, por lo que se deja abierto el desarrollo de trabajos futuros como el diseño de la instalación eléctrica, instalación de saneamiento, estudio de seguridad y salud de la obra, o incluso el diseño de la estructura usando otros materiales.

## 12 Referencias bibliográficas

Código Técnico de la Edificación (CTE). Actualizado a febrero de 2008. Texto modificado por RD 1371/2007, de 19 de octubre (BOE 23/10/2007) y corrección de errores (BOE 25/01/2008):

- Documento Básico Seguridad Estructural
- Documento Básico Acciones en la Edificación
- Documento Básico Acero
- Documento Básico Cimentación
- Documento Básico Seguridad en caso de Incendio

Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE-08). Actualizada a diciembre de 2008. Texto modificado por RD 1247/2008, de 18 de julio.

Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (RSCIEI). RD 2267/2004, de 3 de diciembre.

Manual de CYPE 3D por Antonio Manuel Reyes Rodríguez: Cálculo de estructuras metálicas con Nuevo Metal 3D. Edición ANAYA 2008.

Guía de Diseño para estructuras en celosía resueltas con perfiles tubulares de acero. Instituto para la Construcción Tubular (ITC).

Módulo “Generador de Precios” del programa CYPE Ingenieros del que se ha exportado la mayor parte del Pliego de condiciones y precios unitarios del Presupuesto de este proyecto.

Módulo “Cype 3D” del programa CYPE Ingenieros del que se ha exportado el apartado de Anexos y todas las comprobaciones realizadas en este proyecto.

**ANEXOS**

# 1 Comprobaciones ELU de los elementos estructurales

## 1.1 Correas de cubierta

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Aprovechamiento: 97.70 % Barra pésima en cubierta

<b>Perfil: CF-200x3.0</b> <b>Material: S235</b>									
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	z <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)
	21.670, 0.000, 9.276	21.670, 6.600, 9.276	6.600	10.20	588.29	45.90	0.31	-13.41	0.00
	Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme <sup>(3)</sup> Coordenadas del centro de gravedad								
		Pandeo			Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.			
	β	0.00	1.00	0.00		0.00			
	L <sub>k</sub>	0.000	6.600	0.000		0.000			
	C <sub>1</sub>	-			1.000				
	Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico								

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	N <sub>t</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	N <sub>c</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>		
pésima en cubierta	b / t ≤ (b / t) <sub>Máx.</sub> Cumple	N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	x: 6.6 m η = 97.7	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	x: 6.6 m η = 15.5	N.P. <sup>(7)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	N.P. <sup>(9)</sup>	N.P. <sup>(10)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 97.7	
Notación: b / t: Relación anchura / espesor $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión. Eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión. Eje Z M <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión biaxial V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z N <sub>t</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a tracción y flexión N <sub>c</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a compresión y flexión NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante, axil y flexión M <sub>t</sub> NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): <sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. <sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. <sup>(3)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. <sup>(4)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. <sup>(5)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay flexión biaxial para ninguna combinación. <sup>(6)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. <sup>(7)</sup> No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. <sup>(8)</sup> No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. <sup>(9)</sup> No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. <sup>(10)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.															

### Relación anchura / espesor (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

$h / t : 62.7$  ✓

$b / t : 16.0$  ✓

$$c / t : \underline{4.7} \quad \checkmark$$

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

$$c / b : \underline{0.292}$$

Donde:

**h**: Altura del alma.

$$h : \underline{188.00} \text{ mm}$$

**b**: Ancho de las alas.

$$b : \underline{48.00} \text{ mm}$$

**c**: Altura de los rigidizadores.

$$c : \underline{14.00} \text{ mm}$$

**t**: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

#### **Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

#### **Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

#### **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

#### **Resistencia a flexión. Eje Y** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.977} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 21.670, 6.600, 9.276, para la combinación de acciones  $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(180^\circ) H1$ .

$M_{v,Ed}$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{v,Ed}^+ : \underline{1.311} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

$M_{v,Ed}$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{v,Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión  $M_{c,Rd}$  viene dada por:

$$M_{c,Rd} : \underline{1.342} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_{el}$ : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{58.83} \text{ cm}^3$$

$f_{vb}$ : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_{vb} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a pandeo lateral del ala superior:** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

**Resistencia a pandeo lateral del ala inferior:** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a flexión. Eje Z** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a flexión biaxial** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

La comprobación no procede, ya que no hay flexión biaxial para ninguna combinación.

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.155 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 21.670, 6.600, 9.276, para la combinación de acciones  $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(180^\circ) H1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 1.195 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{b,Rd}$  viene dado por:

$V_{b,Rd}$  : 7.716 t

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$h_w$  : 194.36 mm

$t$ : Espesor.

$t$  : 3.00 mm

$\phi$ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$\phi$  : 90.0 grados

$f_{bv}$ : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$f_{bv}$  : 1389.40 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$ : Esbeltez relativa del alma.

$\bar{\lambda}_w$  : 0.75

Donde:

$f_{yb}$ : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_{yb}$  : 2395.51 kp/cm<sup>2</sup>

$E$ : Módulo de elasticidad.

$E$  : 2140672.78 kp/cm<sup>2</sup>

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$ : 1.05

**Resistencia a tracción y flexión** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a compresión y flexión** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a cortante, axil y flexión** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

# TRABAJO FIN DE GRADO

## Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Porcentajes de aprovechamiento:
- Flecha: 93.38 %

Coordenadas del nudo inicial: 21.670, 0.000, 9.276

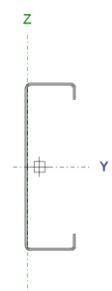
Coordenadas del nudo final: 21.670, 6.600, 9.276

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis 1.00\*G1 + 1.00\*G2 + 1.00\*V(180°) H1 a una distancia 3.300 m del origen en el primer vano de la correa.

(I<sub>y</sub> = 588 cm<sup>4</sup>) (I<sub>z</sub> = 46 cm<sup>4</sup>)

## 1.2 Correas laterales

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 87.79 %
Barra pésima en lateral

Perfil: CF-200x3.0 Material: S235									
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	y <sub>q</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	z <sub>q</sub> <sup>(3)</sup> (mm)
	0.000, 26.400, 0.500	0.000, 19.800, 0.500	6.600	10.20	588.29	45.90	0.31	-13.41	0.00
<b>Notas:</b> <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme <sup>(3)</sup> Coordenadas del centro de gravedad									
	Pandeo		Pandeo lateral						
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.				
β	0.00	1.00	0.00		0.00				
L <sub>K</sub>	0.000	6.600	0.000		0.000				
C <sub>1</sub>	-		1.000						
<b>Notación:</b> β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico									

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	b / t	$\bar{\lambda}$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	N <sub>t</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	N <sub>c</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>		
pésima en lateral	b / t ≤ (b / t) <sub>Máx.</sub> Cumple	N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(3)</sup>	x: 0 m η = 87.8	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	x: 0 m η = 13.9	N.P. <sup>(7)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	N.P. <sup>(9)</sup>	N.P. <sup>(10)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 87.8	

### Notación:

b / t: Relación anchura / espesor  
 $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez  
 N<sub>t</sub>: Resistencia a tracción  
 N<sub>c</sub>: Resistencia a compresión  
 M<sub>y</sub>: Resistencia a flexión. Eje Y  
 M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión. Eje Z  
 M<sub>y</sub>M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión biaxial  
 V<sub>y</sub>: Resistencia a corte Y  
 V<sub>z</sub>: Resistencia a corte Z  
 N<sub>t</sub>M<sub>y</sub>M<sub>z</sub>: Resistencia a tracción y flexión  
 N<sub>c</sub>M<sub>y</sub>M<sub>z</sub>: Resistencia a compresión y flexión  
 NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a cortante, axil y flexión  
 M<sub>t</sub>NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante  
 x: Distancia al origen de la barra  
 η: Coeficiente de aprovechamiento (%)  
 N.P.: No procede

### Comprobaciones que no proceden (N.P.):

- <sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.
- <sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
- <sup>(3)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
- <sup>(4)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
- <sup>(5)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay flexión biaxial para ninguna combinación.
- <sup>(6)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
- <sup>(7)</sup> No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- <sup>(8)</sup> No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- <sup>(9)</sup> No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- <sup>(10)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

**Relación anchura / espesor** (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

$$h / t : \underline{62.7} \quad \checkmark$$

$$b / t : \underline{16.0} \quad \checkmark$$

$$c / t : \underline{4.7} \quad \checkmark$$

Los rigidizadores proporcionan suficiente rigidez, ya que se cumple:

$$c / b : \underline{0.292}$$

Donde:

**h:** Altura del alma.

$$h : \underline{188.00} \text{ mm}$$

**b:** Ancho de las alas.

$$b : \underline{48.00} \text{ mm}$$

**c:** Altura de los rigidizadores.

$$c : \underline{14.00} \text{ mm}$$

**t:** Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

#### **Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

#### **Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.2)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

#### **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

#### **Resistencia a flexión. Eje Y** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.878} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{v,Ed}$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{v,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 26.400, 0.500, para la combinación de acciones  $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(0^\circ) H2$ .

$M_{v,Ed}$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{v,Ed}^- : \underline{1.178} \text{ t}\cdot\text{m}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

La resistencia de cálculo a flexión  $M_{c,Rd}$  viene dada por:

$$M_{c,Rd} : \underline{1.342} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_{el}$ : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{58.83} \text{ cm}^3$$

$f_{yb}$ : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_{yb} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a pandeo lateral del ala superior:** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a pandeo lateral del ala inferior:** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

**Resistencia a flexión. Eje Z** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a flexión biaxial** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

La comprobación no procede, ya que no hay flexión biaxial para ninguna combinación.

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.139} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 26.400, 0.500, para la combinación de acciones  $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(0^\circ) H2$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.071} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{b,Rd}$  viene dado por:

$$V_{b,Rd} : \underline{7.716} \text{ t}$$

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$$h_w : \underline{194.36} \text{ mm}$$

$t$ : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$\phi$ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\phi : \underline{90.0} \text{ grados}$$

$f_{bv}$ : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{1389.40} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$ : Esbeltez relativa del alma.

$\bar{\lambda}_w$ : 0.75

Donde:

$f_{yb}$ : Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$E$ : Módulo de elasticidad.

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$f_{yb}$ : 2395.51 kp/cm<sup>2</sup>

$E$ : 2140672.78 kp/cm<sup>2</sup>

$\gamma_{M0}$ : 1.05

#### **Resistencia a tracción y flexión** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.8 y 6.3)

No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

#### **Resistencia a compresión y flexión** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

#### **Resistencia a cortante, axil y flexión** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.10)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

#### **Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 78.50 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.000, 39.600, 0.500

Coordenadas del nudo final: 0.000, 33.000, 0.500

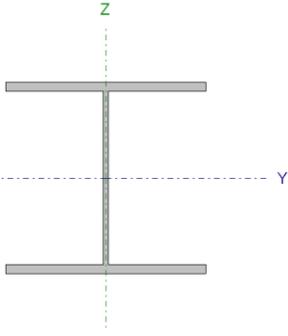
El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis  $1.00 \cdot G1 + 1.00 \cdot G2 + 1.00 \cdot V(90^\circ)$  H1 a una distancia 3.300 m del origen en el primer vano de la correa.

( $I_y = 588 \text{ cm}^4$ ) ( $I_z = 46 \text{ cm}^4$ )

# TRABAJO FIN DE GRADO

## 1.3 Pilar de las esquinas

Barra N25/N204

Perfil: HE 280 A Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N25	N204	3.885	97.30	13670.00	4763.00	62.10	
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	0.70	0.70	0.00	0.00		
	L <sub>K</sub>	2.720	2.720	0.000	0.000		
	C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							
<b>Situación de incendio</b>							
Resistencia requerida: R 60							
Factor de forma: 178.08 m <sup>-1</sup>							
Temperatura máx. de la barra: 635.0 °C							
Pintura intumescente: 1.0 mm							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE															Estado
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>	
N25/N204	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 3.839 m η = 1.2	x: 0 m η = 3.2	x: 0 m η = 19.6	x: 0 m η = 21.4	x: 0 m η = 8.4	x: 0 m η = 1.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 33.2	η < 0.1	η = 0.6	η < 0.1	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 33.2
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO															Estado
N25/N204	x: 3.839 m η < 0.1	x: 0 m η = 4.1	x: 0 m η = 16.0	x: 0 m η = 17.4	x: 0 m η = 6.9	x: 0 m η = 1.0	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 28.0	η < 0.1	η = 0.5	η = 0.1	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 28.0		
Notación: N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

### Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente (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.

$\bar{\lambda}$  : **0.45** ✓

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 :** 3

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A :** 97.30 cm<sup>2</sup>  
**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub> :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>  
**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico. **N<sub>cr</sub> :** 1360.669 t

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** 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<sub>cr,y</sub> :** 3905.174 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N<sub>cr,z</sub> :** 1360.669 t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **N<sub>cr,T</sub> :** ∞

Donde:

**I<sub>y</sub>:** Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I<sub>y</sub> :** 13670.00 cm<sup>4</sup>  
**I<sub>z</sub>:** Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I<sub>z</sub> :** 4763.00 cm<sup>4</sup>  
**I<sub>t</sub>:** Momento de inercia a torsión uniforme. **I<sub>t</sub> :** 62.10 cm<sup>4</sup>  
**I<sub>w</sub>:** Constante de alabeo de la sección. **I<sub>w</sub> :** 785400.00 cm<sup>6</sup>  
**E:** Módulo de elasticidad. **E :** 2140673 kp/cm<sup>2</sup>  
**G:** Módulo de elasticidad transversal. **G :** 825688 kp/cm<sup>2</sup>  
**L<sub>ky</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L<sub>ky</sub> :** 2.720 m  
**L<sub>kz</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L<sub>kz</sub> :** 2.720 m  
**L<sub>kt</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L<sub>kt</sub> :** 0.000 m  
**i<sub>0</sub>:** Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i<sub>0</sub> :** 13.76 cm

Siendo:

**i<sub>y</sub> , i<sub>z</sub>:** Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. **i<sub>y</sub> :** 11.85 cm  
**i<sub>z</sub> :** 7.00 cm  
**y<sub>0</sub> , z<sub>0</sub>:** 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<sub>0</sub> :** 0.00 mm  
**z<sub>0</sub> :** 0.00 mm

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida - Temperatura ambiente** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$30.50 \leq 307.57 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>:** Altura del alma. **h<sub>w</sub> :** 244.00 mm  
**t<sub>w</sub>:** Espesor del alma. **t<sub>w</sub> :** 8.00 mm

## TRABAJO FIN DE GRADO

$A_w$ : 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.

$f_{vf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$A_w : \underline{19.52} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{36.40} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.55}$$

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{vf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

### Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.012} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.839 m del nudo N25, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H3$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{3.096} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{259.769} \text{ t}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{97.30} \text{ cm}^2$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.028} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.032} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{7.218} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{259.769} \text{ t}$$

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 :** 3

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{97.30} \text{ cm}^2$$

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**$f_v$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**$\gamma_{M0}$ :** 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:

$$N_{b,Rd} : \underline{226.459} \text{ t}$$

Donde:

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{97.30} \text{ cm}^2$$

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**$f_v$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**$\gamma_{M1}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**$\chi$ :** Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0.98}$$

$$\chi_z : \underline{0.87}$$

Siendo:

$$\phi_y : \underline{0.55}$$

$$\phi_z : \underline{0.66}$$

**$\alpha$ :** Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

**$\bar{\lambda}$ :** Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.26}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.45}$$

**$N_{cr}$ :** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{1360.669} \text{ t}$$

**$N_{cr,y}$ :** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{3905.174} \text{ t}$$

**$N_{cr,z}$ :** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1360.669} \text{ t}$$

**$N_{cr,T}$ :** Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

### **Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.196} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{5.311} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{3.432} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{27.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3.

$$W_{el,y} : \underline{1012.59} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : 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 - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.214} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.774} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{1.943} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{9.083} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

**$W_{el,z}$ :** Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3.

$$W_{el,z} : \underline{340.21} \text{ cm}^3$$

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**$f_v$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.084} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones  $0.8\cdot PP + 1.5\cdot V(0^\circ)H4$ .

**$V_{Ed}$ :** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.808} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{33.294} \text{ t}$$

Donde:

**$A_v$ :** Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{21.60} \text{ cm}^2$$

Siendo:

**$h$ :** Canto de la sección.

$$h : \underline{270.00} \text{ mm}$$

**$t_w$ :** Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**$f_v$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**$\gamma_{M0}$ :** 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:

$$30.50 < 64.71 \checkmark$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.  $\lambda_w$  : 30.50

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.  $\lambda_{m\acute{a}x}$  : 64.71

$\epsilon$ : Factor de reducción.  $\epsilon$  : 0.92

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.  $f_{ref}$  : 2395.51 kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

### **Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.013 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(EI).

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 1.519 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$V_{c,Rd}$  : 119.890 t

Donde:

$A_v$ : rea transversal a cortante.  $A_v$  : 77.78 cm<sup>2</sup>

Siendo:

$A$ : rea de la sección bruta.  $A$  : 97.30 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.  $d$  : 244.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w$  : 8.00 mm

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{vd}$  : 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente** (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  $V_{c,Rd}$ .

$$2.808 \text{ t} \leq 16.647 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4$ .

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{2.808} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{33.294} \text{ t}$$

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente** (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  $V_{c,Rd}$ .

$$1.519 \text{ t} \leq 59.945 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{1.519} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{119.890} \text{ t}$$

**Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.332} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.321} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N25, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$ .

Donde:

$$N_{t,Ed}: \text{Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{t,Ed} : \underline{1.505} \text{ t}$$

$$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: \text{Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y} \quad M_{y,Ed}^+ : \underline{4.185} \text{ t}\cdot\text{m}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

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<sub>pl,Rd</sub>:** Resistencia a tracción.

**M<sub>el,Rd,y</sub>, M<sub>el,Rd,z</sub>:** Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

**M<sub>ef,Ed</sub>:** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{1.553} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{259.769} \text{ t}$$

$$M_{el,Rd,y} : \underline{27.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{el,Rd,z} : \underline{9.083} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} : \underline{4.059} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

**σ<sub>com,Ed</sub>:** Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{400.90} \text{ kp/cm}^2$$

**W<sub>y,com</sub>:** Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{1012.59} \text{ cm}^3$$

**A:** Área de la sección bruta.

$$A : \underline{97.30} \text{ cm}^2$$

**M<sub>b,Rd,y</sub>:** Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{27.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (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<sub>Ed</sub>** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H4.

$$2.808 \text{ t} \leq 16.643 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

**V<sub>Ed,z</sub>:** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{2.808} \text{ t}$$

**V<sub>c,Rd,z</sub>:** Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{33.287} \text{ t}$$

### Resistencia a torsión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H3.

**M<sub>T,Ed</sub>:** Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M<sub>T,Rd</sub>** viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{0.736} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{47.77} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$\gamma_{MO}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.017} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$ : 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:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{33.287} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$V_{pl,Rd} : \underline{33.294} \text{ t}$$

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.88} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{47.77} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$\gamma_{MO}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.011} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{119.862} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{119.890} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.88} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{47.77} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a tracción - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.839 m del nudo N25, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H3.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.042} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{105.200} \text{ t}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{97.30} \text{ cm}^2$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{v,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{v,\theta} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{v,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la

$$k_{v,\theta} : \underline{0.39}$$

temperatura que alcanza el perfil.  
 $\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,\theta}$  : 1.00

### Resistencia a compresión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.033 ✓

$\eta$  : 0.041 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 3.485 t

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$N_{c,Rd}$  : 105.200 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** : 3

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 97.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>vd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>vd</sub>** : 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**f<sub>v,θ</sub>**: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

**f<sub>v,θ</sub>** : 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

**f<sub>v</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>v</sub>** : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**k<sub>v,θ</sub>**: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

**k<sub>v,θ</sub>** : 0.39

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,\theta}$  : 1.00

### 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:

$N_{b,Rd}$  : 84.697 t

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 97.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>vd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>vd</sub>** : 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

## TRABAJO FIN DE GRADO

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $f_{y,\theta} : \underline{1081.20}$  kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{2803.26}$  kp/cm<sup>2</sup>

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  $k_{y,\theta} : \underline{0.39}$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$\chi_y : \underline{0.93}$

$\chi_z : \underline{0.81}$

Siendo:

$\phi_y : \underline{0.59}$

$\phi_z : \underline{0.75}$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_y : \underline{0.49}$

$\alpha_z : \underline{0.49}$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_y : \underline{0.33}$

$\bar{\lambda}_z : \underline{0.57}$

$k_{\lambda,\theta}$ : Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.

$k_{\lambda,\theta} : \underline{1.27}$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr} : \underline{1360.669}$  t

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y} : \underline{3905.174}$  t

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z} : \underline{1360.669}$  t

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T} : \underline{\infty}$

### Resistencia a flexión eje Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$\eta : \underline{0.160}$  ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H4.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^+ : \underline{1.756}$  t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}^- : \underline{1.153}$  t·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$M_{c,Rd} : \underline{10.948}$  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 :** 3

**$W_{el,y}$ :** Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3.  **$W_{el,y}$  :** 1012.59 cm<sup>3</sup>

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.  **$f_{vd}$  :** 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**$f_{y,\theta}$ :** Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  **$f_{y,\theta}$  :** 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  **$f_y$  :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**$k_{y,\theta}$ :** Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  **$k_{y,\theta}$  :** 0.39

**$\gamma_{M,\theta}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.  **$\gamma_{M,\theta}$  :** 1.00

**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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.174} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H1.

**$M_{Ed}^+$ :** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.  **$M_{Ed}^+$  :** 0.596 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

**$M_{Ed}^-$ :** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.  **$M_{Ed}^-$  :** 0.641 t·m

El momento flector resistente de cálculo  **$M_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$\mathbf{M_{c,Rd}} : \underline{3.678} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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 :** 3

**$W_{el,z}$ :** Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3.  **$W_{el,z}$  :** 340.21 cm<sup>3</sup>

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.  **$f_{vd}$  :** 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**$f_{y,\theta}$ :** Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el  **$f_{y,\theta}$  :** 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

## TRABAJO FIN DE GRADO

perfil.

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_v$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$k_{v,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$k_{v,\theta}$  : 0.39

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,\theta}$  : 1.00

### **Resistencia a corte Z - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.069 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.929 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$V_{c,Rd}$  : 13.483 t

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$  : 21.60 cm<sup>2</sup>

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$h$  : 270.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 8.00 mm

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{vd}$  : 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_{v,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$f_{v,\theta}$  : 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_v$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$k_{v,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$k_{v,\theta}$  : 0.39

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,\theta}$  : 1.00

### **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:

**30.50 < 64.71** ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.  $\lambda_w$  : 30.50

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.  $\lambda_{m\acute{a}x}$  : 64.71

$\varepsilon$ : Factor de reducción.  $\varepsilon$  : 0.92

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.  $f_{ref}$  : 2395.51 kp/cm<sup>2</sup>

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_v$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

### Resistencia a corte Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.010 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N25, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 0.510 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$V_{c,Rd}$  : 48.552 t

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v$  : 77.78 cm<sup>2</sup>

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.  $A$  : 97.30 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.  $d$  : 244.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w$  : 8.00 mm

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{vd}$  : 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_{v,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $f_{v,\theta}$  : 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_v$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$k_{v,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  $k_{v,\theta}$  : 0.39

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M,\theta}$  : 1.00

### **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.929 \text{ t} \leq 6.742 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $PP+0.5 \cdot V(0^\circ)H4$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.929} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{13.483} \text{ t}$$

### **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.510 \text{ t} \leq 24.276 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $PP+0.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.510} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{48.552} \text{ t}$$

### **Resistencia a flexión y axil combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.278} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.280} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.256} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N25, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H3.

Donde:

$$\begin{array}{ll} \mathbf{N_{c,Ed}}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} & \mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{0.981} \text{ t} \\ \mathbf{M_{y,Ed}}, \mathbf{M_{z,Ed}}: \text{Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.} & \mathbf{M_{y,Ed}^+} : \underline{1.381} \text{ t}\cdot\text{m} \\ & \mathbf{M_{z,Ed}^+} : \underline{0.525} \text{ t}\cdot\text{m} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \mathbf{Clase}: \text{Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.} & \mathbf{Clase} : \underline{3} \end{array}$$

$$\mathbf{N_{pl,Rd}}: \text{Resistencia a compresión de la sección bruta.} \quad \mathbf{N_{pl,Rd}} : \underline{105.200} \text{ t}$$

$$\begin{array}{ll} \mathbf{M_{el,Rd,y}}, \mathbf{M_{el,Rd,z}}: \text{Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.} & \mathbf{M_{el,Rd,y}} : \underline{10.948} \text{ t}\cdot\text{m} \\ & \mathbf{M_{el,Rd,z}} : \underline{3.678} \text{ t}\cdot\text{m} \end{array}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

$$\mathbf{A}: \text{Área de la sección bruta.} \quad \mathbf{A} : \underline{97.30} \text{ cm}^2$$

$$\begin{array}{ll} \mathbf{W_{el,y}}, \mathbf{W_{el,z}}: \text{Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.} & \mathbf{W_{el,y}} : \underline{1012.59} \text{ cm}^3 \\ & \mathbf{W_{el,z}} : \underline{340.21} \text{ cm}^3 \end{array}$$

$$\mathbf{f_{yd}}: \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad \mathbf{f_{yd}} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$\mathbf{f_{y,\theta}}: \text{Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad \mathbf{f_{y,\theta}} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

$$\mathbf{f_y}: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad \mathbf{f_y} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\mathbf{k_{y,\theta}}: \text{Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad \mathbf{k_{y,\theta}} : \underline{0.39}$$

$$\mathbf{\gamma_{M,\theta}}: \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \mathbf{\gamma_{M,\theta}} : \underline{1.00}$$

$\mathbf{k_y}, \mathbf{k_z}$ : Coeficientes de interacción.

$$\mathbf{k_y} : \underline{1.00}$$

$$\mathbf{k_z} : \underline{1.00}$$

$\mathbf{C_{m,y}}, \mathbf{C_{m,z}}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$\mathbf{C_{m,y}} : \underline{1.00}$$

$$\mathbf{C_{m,z}} : \underline{1.00}$$

$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.93}$$

$$\chi_z : \underline{0.81}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.33}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.57}$$

$\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.80}$$

$$\alpha_z : \underline{1.00}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

### **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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 PP+0.5·V(0°)H4.

$$0.929 \text{ t} \leq 6.741 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.929} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{13.481} \text{ t}$$

### **Resistencia a torsión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H3.

$M_{T,Ed}$ : 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:

$$M_{T,Rd} : \underline{0.298} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{47.77} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.39}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.2·N(R).

$$\mathbf{V}_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{V}_{Ed} : \underline{0.009} \text{ t}$$

$$\mathbf{M}_{T,Ed} : \text{Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{M}_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $\mathbf{V}_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$\mathbf{V}_{pl,T,Rd} : \underline{13.481} \text{ t}$$

Donde:

$$\mathbf{V}_{pl,Rd} : \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad \mathbf{V}_{pl,Rd} : \underline{13.483} \text{ t}$$

$$\tau_{T,Ed} : \text{Tensiones tangenciales por torsión.} \quad \tau_{T,Ed} : \underline{0.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$\mathbf{W}_T : \text{Módulo de resistencia a torsión.} \quad \mathbf{W}_T : \underline{47.77} \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{f}_{vd} : \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad \mathbf{f}_{vd} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$\mathbf{f}_{y,\theta} : \text{Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad \mathbf{f}_{y,\theta} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

$$\mathbf{f}_y : \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad \mathbf{f}_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\mathbf{k}_{y,\theta} : \text{Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad \mathbf{k}_{y,\theta} : \underline{0.39}$$

$$\gamma_{M,\theta} : \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.2·N(R).

$$\mathbf{V}_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{V}_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

$$\mathbf{M}_{T,Ed} : \text{Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{M}_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $\mathbf{V}_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$\mathbf{V}_{pl,T,Rd} : \underline{48.544} \text{ t}$$

Donde:

## TRABAJO FIN DE GRADO

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$V_{pl,Rd} : \frac{48.552}{1} \text{ t}$$

$$\tau_{T,Ed} : \frac{0.26}{1} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \frac{47.77}{1} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \frac{1081.20}{1} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \frac{1081.20}{1} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_y : \frac{2803.26}{1} \text{ kp/cm}^2$$

$$k_{y,\theta} : \frac{0.39}{1}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \frac{1.00}{1}$$

## 1.4 Pilarillos hastiales

Barra N32/N167

Perfil: IPE 450 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N32	N167	7.770	98.80	33740.00	1676.00	66.90
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.70	0.70	0.00	0.00	
L <sub>K</sub>		5.439	5.439	0.000	0.000	
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000	
C <sub>1</sub>		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						
Situación de incendio						
Resistencia requerida: R 60						
Factor de forma: 172.69 m <sup>-1</sup>						
Temperatura máx. de la barra: 338.5 °C						
Pintura intumescente: 2.6 mm						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N32/N167	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 7.697 m η = 0.9	x: 0 m η = 5.4	x: 0 m η = 79.1	x: 0 m η = 2.8	x: 0 m η = 12.9	η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 79.5	x: 0 m η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 79.5
Comprobaciones que no proceden (N.P.): <sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. <sup>(2)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO														Estado	
	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>			
N32/N167	x: 7.697 m η = 0.1	x: 0 m η = 4.4	x: 0 m η = 34.4	x: 0 m η = 1.2	x: 0 m η = 5.6	η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 35.2	x: 0 m η < 0.1	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 35.2		
Comprobaciones que no proceden (N.P.): <sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. <sup>(2)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Notación: N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																

**Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente** (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. $\bar{\lambda}$  : 1.48 ✓

## TRABAJO FIN DE GRADO

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 :** 4

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A<sub>ef</sub> :** 93.67 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub> :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico. **N<sub>cr</sub> :** 119.698 t

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** 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<sub>cr,y</sub> :** 2409.667 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N<sub>cr,z</sub> :** 119.698 t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **N<sub>cr,T</sub> :** ∞

Donde:

**I<sub>y</sub>:** Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I<sub>y</sub> :** 33740.00 cm<sup>4</sup>

**I<sub>z</sub>:** Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I<sub>z</sub> :** 1676.00 cm<sup>4</sup>

**I<sub>t</sub>:** Momento de inercia a torsión uniforme. **I<sub>t</sub> :** 66.90 cm<sup>4</sup>

**I<sub>w</sub>:** Constante de alabeo de la sección. **I<sub>w</sub> :** 791000.00 cm<sup>6</sup>

**E:** Módulo de elasticidad. **E :** 2140673 kp/cm<sup>2</sup>

**G:** Módulo de elasticidad transversal. **G :** 825688 kp/cm<sup>2</sup>

**L<sub>ky</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L<sub>ky</sub> :** 5.439 m

**L<sub>kz</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L<sub>kz</sub> :** 5.439 m

**L<sub>kt</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L<sub>kt</sub> :** 0.000 m

**i<sub>0</sub>:** Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i<sub>0</sub> :** 18.93 cm

Siendo:

**i<sub>y</sub> , i<sub>z</sub>:** Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. **i<sub>y</sub> :** 18.48 cm

**i<sub>z</sub> :** 4.12 cm

**y<sub>0</sub> , z<sub>0</sub>:** 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<sub>0</sub> :** 0.00 mm

**z<sub>0</sub> :** 0.00 mm

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida - Temperatura ambiente** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$44.77 \leq 273.56 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>:** Altura del alma. **h<sub>w</sub> :** 420.80 mm

**t<sub>w</sub>:** Espesor del alma. **t<sub>w</sub> :** 9.40 mm

$A_w$ : 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.  
 $f_{vf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.  
 Siendo:

$$A_w : \frac{39.56}{\quad} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \frac{27.74}{\quad} \text{ cm}^2$$

$$k : \frac{0.30}{\quad}$$

$$E : \frac{2140673}{\quad} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{vf} : \frac{2803.26}{\quad} \text{ kp/cm}^2$$

### Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.697 m del nudo N32, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{2.256} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{263.774} \text{ t}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{98.80} \text{ cm}^2$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.019} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.054} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{4.734} \text{ t}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{250.072} \text{ t}$$

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 :** 4

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$A_{ef} : \underline{93.67} \text{ cm}^2$$

**f<sub>vd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**f<sub>v</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**γ<sub>M0</sub>:** 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:

$$N_{b,Rd} : \underline{87.345} \text{ t}$$

Donde:

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$A_{ef} : \underline{93.67} \text{ cm}^2$$

**f<sub>vd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**f<sub>v</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**χ:** Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0.97}$$

$$\chi_z : \underline{0.35}$$

Siendo:

$$\phi_y : \underline{0.57}$$

$$\phi_z : \underline{1.81}$$

**α:** Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

$$\alpha_z : \underline{0.34}$$

**λ̄:** Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.33}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.48}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{119.698} \text{ t}$$

**N<sub>cr,y</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{2409.667} \text{ t}$$

**N<sub>cr,z</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{119.698} \text{ t}$$

**N<sub>cr,T</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

**Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.791} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$ . $M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{35.955} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ . $M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{31.517} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{45.440} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{1702.00} \text{ cm}^3$$

 $f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

 $f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 $\gamma_{M0}$ : 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 - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.028} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$ . $M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.209} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ . $M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.196} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

## TRABAJO FIN DE GRADO

$$M_{c,Rd} : \underline{7.369} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.  **$W_{pl,z}$  :** 276.00 cm<sup>3</sup>

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.  **$f_{vd}$  :** 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**$f_v$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  **$f_v$  :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**$\gamma_{MO}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.  **$\gamma_{MO}$  :** 1.05

### **Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.129} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$ .

**$V_{Ed}$ :** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  **$V_{Ed}$  :** 8.410 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  **$V_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{65.201} \text{ t}$$

Donde:

**$A_v$ :** Área transversal a cortante.  **$A_v$  :** 42.30 cm<sup>2</sup>

Siendo:

**$h$ :** Canto de la sección.  **$h$  :** 450.00 mm

**$t_w$ :** Espesor del alma.  **$t_w$  :** 9.40 mm

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.  **$f_{vd}$  :** 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**$f_v$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  **$f_v$  :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**$\gamma_{MO}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.  **$\gamma_{MO}$  :** 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:

$$44.77 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{44.77}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$\epsilon$ : Factor de reducción.

$$\epsilon : \underline{0.92}$$

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 - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.027} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{91.320} \text{ t}$$

Donde:

$A_v$ : rea transversal a cortante.

$$A_v : \underline{59.24} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$A$ : rea de la sección bruta.

$$A : \underline{98.80} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{420.80} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{9.40} \text{ mm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{Mo}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

### **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente** (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  $V_{c,Rd}$ .

$$8.410 \text{ t} \leq 32.600 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N32, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{8.410} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{65.201} \text{ t}$$

### **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente** (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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.027 \text{ t} \leq 45.660 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N32, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.027} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{91.320} \text{ t}$$

### **Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.795} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.795} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.485} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>s</sup>imos se producen en el nudo N32, para la combinaci3n de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresi3n solicitante de c3lculo p <sup>s</sup> imo.	$N_{c,Ed} : \underline{0.836} \text{ t}$
$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de c3lculo p <sup>s</sup> imos, seg <sup>u</sup> n los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed}^+ : \underline{35.955} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{z,Ed}^+ : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$
<b>Clase</b> : Clase de la secci3n, seg <sup>u</sup> n la capacidad de deformaci3n y de desarrollo de la resistencia pl3stica de sus elementos planos, para axil y flexi3n simple.	<b>Clase</b> : $\underline{1}$
$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresi3n de la secci3n bruta.	$N_{pl,Rd} : \underline{263.774} \text{ t}$
$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexi3n de la secci3n bruta en condiciones pl3sticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y} : \underline{45.440} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{pl,Rd,z} : \underline{7.369} \text{ t}\cdot\text{m}$
<b>Resistencia a pandeo</b> : (CTE DB SE-A, Art3culo 6.3.4.2)	
<b>A</b> : 3rea de la secci3n bruta.	$A : \underline{98.80} \text{ cm}^2$
$W_{pl,y}, W_{pl,z}$ : M3dulos resistentes pl3sticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{pl,y} : \underline{1702.00} \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} : \underline{276.00} \text{ cm}^3$
$f_{vd}$ : Resistencia de c3lculo del acero.	$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$f_y$ : L3mite el3stico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$
$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

$k_y, k_z$ : Coeficientes de interacci3n.

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z : \underline{1.01}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducci3n por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.97}$$

$$\chi_z : \underline{0.33}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relaci3n a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.34}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.52}$$

$\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la secci3n.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### Resistencia a flexi3n, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Art3culo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de c3lculo a flexi3n y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, adem3s, el esfuerzo cortante solicitante de c3lculo p<sup>s</sup>imo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de c3lculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de c3lculo p<sup>s</sup>imos se producen en el nudo N32, para la combinaci3n de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

$$8.410 \text{ t} \leq 32.600 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{8.410} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{65.201} \text{ t}$$

**Resistencia a torsión - Temperatura ambiente** (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 - Temperatura ambiente** (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 - Temperatura ambiente** (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 tracción - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.697 m del nudo N32, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H1.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.186} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{202.206} \text{ t}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{98.80} \text{ cm}^2$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2046.62} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{v,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{v,\theta} : \underline{2046.62} \text{ kp/cm}^2$$

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{v,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{v,\theta} : \underline{0.73}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

**Resistencia a compresión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.014} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.044} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

 $N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{2.699} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{191.703} \text{ t}$$

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.

$$\text{Clase} : \underline{4}$$

 $A_{ef}$ : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$A_{ef} : \underline{93.67} \text{ cm}^2$$

 $f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2046.62} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

 $f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{2046.62} \text{ kp/cm}^2$$

 $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 $k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.73}$$

 $\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

**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:

$$N_{b,Rd} : \underline{61.487} \text{ t}$$

Donde:

 $A_{ef}$ : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$A_{ef} : \underline{93.67} \text{ cm}^2$$

 $f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2046.62} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

 $f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{2046.62} \text{ kp/cm}^2$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.73}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0.93}$$

$$\chi_z : \underline{0.32}$$

Siendo:

$$\phi_y : \underline{0.59}$$

$$\phi_z : \underline{1.91}$$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.33}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.48}$$

$k_{\lambda,\theta}$ : Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{\lambda,\theta} : \underline{1.00}$$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{119.698} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{2409.667} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{119.698} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

### Resistencia a flexión eje Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.344} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{11.985} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{10.506} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{34.834} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo **Clase** : 1

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.  $W_{pl,y} : 1702.00 \text{ cm}^3$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{vd} : 2046.62 \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $f_{y,\theta} : 2046.62 \text{ kp/cm}^2$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : 2803.26 \text{ kp/cm}^2$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  $k_{y,\theta} : 0.73$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M,\theta} : 1.00$

**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 - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.012} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H3.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.  $M_{Ed}^+ : 0.069 \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.  $M_{Ed}^- : 0.065 \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{5.649} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.  $W_{pl,z} : 276.00 \text{ cm}^3$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{vd} : 2046.62 \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $f_{y,\theta} : 2046.62 \text{ kp/cm}^2$

## TRABAJO FIN DE GRADO

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_v$ : <u>2803.26</u> kp/cm <sup>2</sup>
$k_{v,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.	$k_{v,\theta}$ : <u>0.73</u>
$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M,\theta}$ : <u>1.00</u>

### **Resistencia a corte Z - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.056} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

$$V_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{2.803} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{49.982} \text{ t}$$

Donde:

$$A_v : \text{Área transversal a cortante.} \quad A_v : \underline{42.30} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$$h : \text{Canto de la sección.} \quad h : \underline{450.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \text{Espesor del alma.} \quad t_w : \underline{9.40} \text{ mm}$$

$$f_{vd} : \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{vd} : \underline{2046.62} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{v,\theta} : \text{Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad f_{v,\theta} : \underline{2046.62} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_v : \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$k_{v,\theta} : \text{Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad k_{v,\theta} : \underline{0.73}$$

$$\gamma_{M,\theta} : \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

### **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:

$$44.77 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.  $\lambda_w$  : 44.77

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.  $\lambda_{m\acute{a}x}$  : 64.71

$\epsilon$ : Factor de reducci3n.  $\epsilon$  : 0.92

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.  $f_{ref}$  : 2395.51 kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

### **Resistencia a corte Y - Situaci3n de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cculo pésimo se produce para la combinaci3n de acciones PP+0.5·V(0°)H3.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 0.009 t

El esfuerzo cortante resistente de cculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{70.005} \text{ t}$$

Donde:

$A_v$ : rea transversal a cortante.  $A_v$  : 59.24 cm<sup>2</sup>

Siendo:

$A$ : rea de la secci3n bruta.  $A$  : 98.80 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.  $d$  : 420.80 mm

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w$  : 9.40 mm

$f_{vd}$ : Resistencia de cculo del acero.  $f_{vd}$  : 2046.62 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $f_{y,\theta}$  : 2046.62 kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducci3n del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  $k_{y,\theta}$  : 0.73

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M,\theta}$  : 1.00

## **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $V_{c,Rd}$ .

$$2.803 \text{ t} \leq 24.991 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N32, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.803} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{49.982} \text{ t}$$

## **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.009 \text{ t} \leq 35.002 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N32, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H3.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.009} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{70.005} \text{ t}$$

## **Resistencia a flexión y axil combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.351} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.352} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.229} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N32, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed} : \underline{1.399} \text{ t}$
$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed}^+ : \underline{11.985} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$
<b>Clase</b> : 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.	<b>Clase</b> : <u>1</u>
$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd} : \underline{202.206} \text{ t}$
$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y} : \underline{34.834} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{pl,Rd,z} : \underline{5.649} \text{ t}\cdot\text{m}$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

<b>A</b> : Área de la sección bruta.	<b>A</b> : <u>98.80</u> cm <sup>2</sup>
$W_{pl,y}, W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{pl,y} : \underline{1702.00}$ cm <sup>3</sup> $W_{pl,z} : \underline{276.00}$ cm <sup>3</sup>
$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{vd} : \underline{2046.62}$ kp/cm <sup>2</sup>

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.	$f_{y,\theta} : \underline{2046.62}$ kp/cm <sup>2</sup>
--	---

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : \underline{2803.26}$ kp/cm <sup>2</sup>
---	--

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.	$k_{y,\theta} : \underline{0.73}$
---	-----------------------------------

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$
--	--

$k_y, k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z : \underline{1.03}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.93}$$

$$\chi_z : \underline{0.31}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.34}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.52}$$

$\alpha_y, \alpha_z$ : 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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

## TRABAJO FIN DE GRADO

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 el nudo N32, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

$$2.803 \text{ t} \leq 24.991 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \frac{2.803}{t}$$

$$V_{c,Rd,z} : \frac{49.982}{t}$$

### **Resistencia a torsión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### 1.5 Pilar pórtico interior

Barra N11/N114

Perfil: HE 280 A Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>v</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N11	N114	7.770	97.30	13670.00	4763.00	62.10
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		0.70	1.40	0.00	0.00	
L <sub>K</sub>		5.439	10.878	0.000	0.000	
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000	
C <sub>1</sub>		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						
Situación de incendio						
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 178.08 m-1 Temperatura máx. de la barra: 635.0 °C Pintura intumescente: 1.0 mm						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N11/N114	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 7.697 m η = 3.1	x: 0 m η = 10.6	x: 0 m η = 69.3	x: 0 m η = 5.2	x: 0 m η = 20.7	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 7.697 m η = 82.0	η < 0.1	η = 0.1	x: 0 m η = 20.1	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 82.0
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO														Estado	
	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>			
N11/N114	x: 7.697 m η = 1.1	x: 0 m η = 17.2	x: 7.697 m η = 59.8	x: 0 m η = 4.3	x: 0 m η = 15.8	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 7.697 m η = 78.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 15.8	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 78.9		
Notación: N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

**Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente** (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.

$\bar{\lambda}$  : **1.06** ✓

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** : 3

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 97.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico. **N<sub>cr</sub>** : 244.073 t

## TRABAJO FIN DE GRADO

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.  $N_{cr,y} : \underline{244.073} \text{ t}$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.  $N_{cr,z} : \underline{340.167} \text{ t}$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.  $N_{cr,T} : \underline{\infty}$

Donde:

$I_y$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	$I_y : \underline{13670.00} \text{ cm}^4$
$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	$I_z : \underline{4763.00} \text{ cm}^4$
$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.	$I_t : \underline{62.10} \text{ cm}^4$
$I_w$ : Constante de alabeo de la sección.	$I_w : \underline{785400.00} \text{ cm}^6$
$E$ : 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.	$L_{ky} : \underline{10.878} \text{ m}$
$L_{kz}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	$L_{kz} : \underline{5.439} \text{ m}$
$L_{kt}$ : 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.	$i_0 : \underline{13.76} \text{ cm}$

Siendo:

$i_y, i_z$ : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	$i_y : \underline{11.85} \text{ cm}$	$i_z : \underline{7.00} \text{ cm}$
$y_0, z_0$ : 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 - Temperatura ambiente** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$30.50 \leq 307.57 \checkmark$$

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.	$h_w : \underline{244.00} \text{ mm}$
$t_w$ : Espesor del alma.	$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$
$A_w$ : Área del alma.	$A_w : \underline{19.52} \text{ cm}^2$
$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef} : \underline{36.40} \text{ cm}^2$
$k$ : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	$k : \underline{0.55}$
$E$ : 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:

**Resistencia a tracción - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.031} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.697 m del nudo N11, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H3.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{7.992} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{259.769} \text{ t}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{97.30} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{MO}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a compresión - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.060} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.106} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{15.524} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{259.769} \text{ t}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

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 :** 3

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A :** 97.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>vd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>vd</sub> :** 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub> :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**γ<sub>M0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ<sub>M0</sub> :** 1.05

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N<sub>b,Rd</sub>** en una barra comprimida viene dada por:

$$\mathbf{N_{b,Rd} : 145.795 \text{ t}}$$

Donde:

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A :** 97.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>vd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>vd</sub> :** 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub> :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ<sub>M1</sub> :** 1.05

**χ:** Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : 0.56$$

$$\chi_z : 0.60$$

Siendo:

$$\phi_y : 1.20$$

$$\phi_z : 1.07$$

**α:** Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : 0.34$$

$$\alpha_z : 0.49$$

**λ̄:** Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_y : 1.06$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.90$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$\mathbf{N_{cr} : 244.073 \text{ t}}$$

**N<sub>cr,y</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\mathbf{N_{cr,y} : 244.073 \text{ t}}$$

**N<sub>cr,z</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$\mathbf{N_{cr,z} : 340.167 \text{ t}}$$

**N<sub>cr,T</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\mathbf{N_{cr,T} : \infty}$$

**Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.693 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$$M_{Ed}^+ : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{Ed}^+ : \underline{15.747} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2$ .

$$M_{Ed}^- : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{Ed}^- : \underline{18.735} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{27.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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. **Clase :** 3

**$W_{el,y}$ :** Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3.  **$W_{el,y}$  :** 1012.59 cm<sup>3</sup>

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.  **$f_{vd}$  :** 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**$f_v$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  **$f_v$  :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**$\gamma_{M0}$ :** 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 - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.052} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$$M_{Ed}^+ : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{Ed}^+ : \underline{0.470} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H3$ .

$$M_{Ed}^- : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{Ed}^- : \underline{0.440} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{9.083} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo **Clase :** 3

## TRABAJO FIN DE GRADO

de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$W_{el,z}$ : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3.  $W_{el,z}$  : 340.21 cm<sup>3</sup>

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{vd}$  : 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_v$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.207 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 6.900 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$V_{c,Rd}$  : 33.294 t

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$  : 21.60 cm<sup>2</sup>

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$h$  : 270.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 8.00 mm

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{vd}$  : 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_v$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 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:

**30.50 < 64.71** ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.  $\lambda_w$  : 30.50

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.  $\lambda_{m\acute{a}x}$  : 64.71

$\epsilon$ : Factor de reducci3n.  $\epsilon$  : 0.92

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.  $f_{ref}$  : 2395.51 kp/cm<sup>2</sup>  
 $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

### **Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cculo pésimo se produce para la combinaci3n de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 0.071 t

El esfuerzo cortante resistente de cculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$V_{c,Rd}$  : 119.890 t

Donde:

$A_v$ : rea transversal a cortante.  $A_v$  : 77.78 cm<sup>2</sup>

Siendo:

$A$ : rea de la secci3n bruta.  $A$  : 97.30 cm<sup>2</sup>  
 $d$ : Altura del alma.  $d$  : 244.00 mm  
 $t_w$ : Espesor del alma.  $t_w$  : 8.00 mm

$f_{vd}$ : Resistencia de cculo del acero.  $f_{vd}$  : 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>  
 $\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}$  : 1.05

### **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

## TRABAJO FIN DE GRADO

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  $V_{c,Rd}$ .

$$6.900 \text{ t} \leq 16.647 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{6.900} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{33.294} \text{ t}$$

### **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente** (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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.071 \text{ t} \leq 59.945 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H4$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.071} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{119.890} \text{ t}$$

### **Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.740} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.820} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.669} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 7.697 m del nudo N11, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed} : \underline{13.601} \text{ t}$
$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed} : \underline{18.395} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{z,Ed} : \underline{0.067} \text{ t}\cdot\text{m}$
<b>Clase</b> : 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.	<b>Clase</b> : $\underline{3}$
$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd} : \underline{259.769} \text{ t}$
$M_{el,Rd,y}, M_{el,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{el,Rd,y} : \underline{27.034} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{el,Rd,z} : \underline{9.083} \text{ t}\cdot\text{m}$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

$A$ : Área de la sección bruta.	$A : \underline{97.30} \text{ cm}^2$
$W_{el,y}, W_{el,z}$ : Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{el,y} : \underline{1012.59} \text{ cm}^3$ $W_{el,z} : \underline{340.21} \text{ cm}^3$
$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$
$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

$k_y, k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.06}$$

$$k_z : \underline{1.05}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.56}$$

$$\chi_z : \underline{0.60}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.06}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.90}$$

$\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.80}$$

$$\alpha_z : \underline{1.00}$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (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  $0.8\cdot PP + 1.5\cdot V(180^\circ)H2$ .

$$6.900 \text{ t} \leq 16.647 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	$V_{Ed,z} : \underline{6.900} \text{ t}$
---	--

## TRABAJO FIN DE GRADO

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{33.294} \text{ t}$$

### **Resistencia a torsión - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{0.736} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{47.77} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{MO}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.201} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N11, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{6.702} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$ : 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:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{33.287} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{33.294} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.87} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.  
 $f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{47.77} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  
 $\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.030} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$ : 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:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{119.863} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{119.890} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.87} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.  
 $f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{47.77} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  
 $\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a tracción - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.697 m del nudo N11, para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H3.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$  : 1.147 t

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$N_{t,Rd}$  : 105.200 t

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**A** : 97.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>vd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>vd</sub>** : 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**f<sub>y,θ</sub>**: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

**f<sub>y,θ</sub>** : 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub>** : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**k<sub>y,θ</sub>**: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

**k<sub>y,θ</sub>** : 0.39

**γ<sub>M,θ</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M,θ</sub>** : 1.00

### **Resistencia a compresión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.064 ✓

$\eta$  : 0.172 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 6.767 t

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$N_{c,Rd}$  : 105.200 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** : 3

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A** : 97.30 cm<sup>2</sup>

**f<sub>vd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>vd</sub>** : 1081.20 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $f_{y,\theta} : \underline{1081.20}$  kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{2803.26}$  kp/cm<sup>2</sup>

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  $k_{y,\theta} : \underline{0.39}$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$

**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:

$N_{b,Rd} : \underline{39.282}$  t

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.  $A : \underline{97.30}$  cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : \underline{1081.20}$  kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $f_{y,\theta} : \underline{1081.20}$  kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{2803.26}$  kp/cm<sup>2</sup>

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  $k_{y,\theta} : \underline{0.39}$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$\chi_y : \underline{0.37}$

$\chi_z : \underline{0.47}$

Siendo:

$\phi_y : \underline{1.67}$

$\phi_z : \underline{1.37}$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_y : \underline{0.49}$

$\alpha_z : \underline{0.49}$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_y : \underline{1.34}$

$\bar{\lambda}_z : \underline{1.13}$

$k_{\lambda,\theta}$ : Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.  $k_{\lambda,\theta} : \underline{1.27}$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr} : \underline{244.073}$  t

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y} : \underline{244.073}$  t

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z} : \underline{340.167}$  t

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T} : \underline{\infty}$

## TRABAJO FIN DE GRADO

### Resistencia a flexión eje Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.598} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.697 m del nudo N11, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H2.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{2.691} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.697 m del nudo N11, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{6.546} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{10.948} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3.

$$W_{el,y} : \underline{1012.59} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.39}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

**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 - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.043} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H4.

$$\mathbf{M}_{Ed}^+ : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{M}_{Ed}^+ : \underline{0.157} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H3.

$$\mathbf{M}_{Ed}^- : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{M}_{Ed}^- : \underline{0.146} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $\mathbf{M}_{c,Rd}$  viene dado por:

$$\mathbf{M}_{c,Rd} : \underline{3.678} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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 :** 3

$\mathbf{W}_{el,z}$ : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3.  $\mathbf{W}_{el,z} : \underline{340.21} \text{ cm}^3$

$\mathbf{f}_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $\mathbf{f}_{yd} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$\mathbf{f}_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $\mathbf{f}_{y,\theta} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$

$\mathbf{f}_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $\mathbf{f}_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

$\mathbf{k}_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  $\mathbf{k}_{y,\theta} : \underline{0.39}$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\mathbf{\gamma}_{M,\theta} : \underline{1.00}$

### **Resistencia a corte Z - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.158} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H2.

$$\mathbf{V}_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{V}_{Ed} : \underline{2.127} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $\mathbf{V}_{c,Rd}$  viene dado por:

$$\mathbf{V}_{c,Rd} : \underline{13.483} \text{ t}$$

Donde:

## TRABAJO FIN DE GRADO

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{21.60} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$$h : \underline{270.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.39}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

### 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:

$$30.50 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{30.50}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

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 - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.024} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{48.552} \text{ t}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{77.78} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{97.30} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{244.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.39}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

#### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $V_{c,Rd}$ .

$$2.127 \text{ t} \leq 6.742 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.127} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{13.483} \text{ t}$$

#### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.024 \text{ t} \leq 24.276 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H4.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.024} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{48.552} \text{ t}$$

**Resistencia a flexión y axil combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.655} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.789} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.633} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 7.697 m del nudo N11, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

Donde:

$$N_{c,Ed}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{5.343} \text{ t}$$

$$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: \text{Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{y,Ed} : \underline{6.546} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.023} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.} \quad \text{Clase} : \underline{3}$$

$$N_{pl,Rd}: \text{Resistencia a compresión de la sección bruta.} \quad N_{pl,Rd} : \underline{105.200} \text{ t}$$

$$M_{el,Rd,y}, M_{el,Rd,z}: \text{Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{el,Rd,y} : \underline{10.948} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{el,Rd,z} : \underline{3.678} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

$$A: \text{Área de la sección bruta.} \quad A : \underline{97.30} \text{ cm}^2$$

$$W_{el,y}, W_{el,z}: \text{Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad W_{el,y} : \underline{1012.59} \text{ cm}^3$$

$$W_{el,z} : \underline{340.21} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd}: \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{vd} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{y,\theta}: \text{Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad f_{y,\theta} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$k_{y,\theta}: \text{Factor de reducción del límite elástico para la temperatura} \quad k_{y,\theta} : \underline{0.39}$$

que alcanza el perfil.

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

$k_y, k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.08}$$

$$k_z : \underline{1.07}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.37}$$

$$\chi_z : \underline{0.47}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.34}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.13}$$

$\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.80}$$

$$\alpha_z : \underline{1.00}$$

### **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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 PP+0.5·V(180°)H2.

$$2.127 \text{ t} \leq 6.742 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{2.127} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{13.483} \text{ t}$$

### **Resistencia a torsión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{0.298} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{47.77} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.39}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.158} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N11, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.127} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{dI,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{dI,T,Rd} : \underline{13.481} \text{ t}$$

Donde:

$V_{dI,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{dI,Rd} : \underline{13.483} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.29} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{47.77} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{1081.20} \text{ kp/cm}^2$$

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_v$ : <u>2803.26</u> kp/cm <sup>2</sup>
$k_{v,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.	$k_{v,\theta}$ : <u>0.39</u>
$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M,\theta}$ : <u>1.00</u>

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	$V_{Ed}$ : <u>0.010</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  $V_{dI,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{dI,T,Rd} : \underline{48.544} \text{ t}$$

Donde:

$V_{dI,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$V_{dI,Rd}$ : <u>48.552</u> t
$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.	$\tau_{T,Ed}$ : <u>0.29</u> kp/cm <sup>2</sup>

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.	$W_T$ : <u>47.77</u> cm <sup>3</sup>
$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{vd}$ : <u>1081.20</u> kp/cm <sup>2</sup>

Siendo:

$f_{v,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.	$f_{v,\theta}$ : <u>1081.20</u> kp/cm <sup>2</sup>
--	--

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_v$ : <u>2803.26</u> kp/cm <sup>2</sup>
$k_{v,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.	$k_{v,\theta}$ : <u>0.39</u>

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M,\theta}$ : <u>1.00</u>
--	-----------------------------------

1.6 Cordón celosía

Barra N43/N85

Perfil: RHS 145x82x5.4 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>v</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N43	N85	1.852	22.58	608.91	249.50	585.52
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	0.14	1.00	0.00	0.00		
L <sub>K</sub>	0.259	1.852	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						
Situación de incendio						
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 193.10 m <sup>-1</sup> Temperatura máx. de la barra: 660.5 °C Pintura intumescente: 1.0 mm						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N43/N85	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 1.852 m η = 63.6	x: 0 m η = 58.8	x: 0.926 m η = 11.2	x: 1.852 m η = 0.4	x: 0 m η = 5.5	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.926 m η = 74.3	η < 0.1	η = 0.2	x: 1.852 m η = 2.1	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 74.3
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO														Estado	
	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>			
N43/N85	x: 1.852 m η = 43.4	x: 0 m η = 73.4	x: 0.926 m η = 12.2	x: 1.852 m η = 0.4	x: 0 m η = 5.8	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.926 m η = 88.8	η < 0.1	η = 0.2	x: 1.852 m η = 1.6	η < 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 88.8		
Notación: N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

**Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente** (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.

$\bar{\lambda}$  : 0.41 ✓

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** : 22.58 cm<sup>2</sup>

**f<sub>v</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>v</sub>** : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub>** : 375.076 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.  $N_{cr,y} : \underline{375.076} \text{ t}$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.  $N_{cr,z} : \underline{7841.188} \text{ t}$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.  $N_{cr,T} : \underline{\infty}$

Donde:

$I_y$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	$I_y : \underline{608.91} \text{ cm}^4$
$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	$I_z : \underline{249.50} \text{ cm}^4$
$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.	$I_t : \underline{585.52} \text{ cm}^4$
$I_w$ : 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.	$L_{ky} : \underline{1.852} \text{ m}$
$L_{kz}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	$L_{kz} : \underline{0.259} \text{ m}$
$L_{kt}$ : 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.	$i_0 : \underline{6.17} \text{ cm}$

Siendo:

$i_y, i_z$ : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	$i_y : \underline{5.19} \text{ cm}$
	$i_z : \underline{3.32} \text{ cm}$
$y_0, z_0$ : 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 - Temperatura ambiente** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$24.85 \leq 414.47 \checkmark$$

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.	$h_w : \underline{134.20} \text{ mm}$
$t_w$ : Espesor del alma.	$t_w : \underline{5.40} \text{ mm}$
$A_w$ : Área del alma.	$A_w : \underline{14.49} \text{ cm}^2$
$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef} : \underline{4.43} \text{ cm}^2$
$k$ : 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:

## TRABAJO FIN DE GRADO

### Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.636} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N85, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H3$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{38.317} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{60.286} \text{ t}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{22.58} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{MO}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.524} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.588} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N43, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{31.597} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{60.286} \text{ t}$$

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:** 22.58 cm<sup>2</sup>

**f<sub>vd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>vd</sub>:** 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**f<sub>v</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>v</sub>:** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**γ<sub>M0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>:** 1.05

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N<sub>b,Rd</sub>** en una barra comprimida viene dada por:

**N<sub>b,Rd</sub>:** 53.750 t

Donde:

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A:** 22.58 cm<sup>2</sup>

**f<sub>vd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>vd</sub>:** 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**f<sub>v</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>v</sub>:** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M1</sub>:** 1.05

**χ:** Coeficiente de reducción por pandeo.

**χ<sub>v</sub>:** 0.89

**χ<sub>z</sub>:** 1.00

Siendo:

**φ<sub>v</sub>:** 0.64

**φ<sub>z</sub>:** 0.48

**α:** Coeficiente de imperfección elástica.

**α<sub>v</sub>:** 0.49

**α<sub>z</sub>:** 0.49

**λ̄:** Esbeltez reducida.

**λ̄<sub>v</sub>:** 0.41

**λ̄<sub>z</sub>:** 0.09

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

**N<sub>cr</sub>:** 375.076 t

**N<sub>cr,y</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub>:** 375.076 t

**N<sub>cr,z</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**N<sub>cr,z</sub>:** 7841.188 t

**N<sub>cr,T</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

**N<sub>cr,T</sub>:** ∞

**Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

## TRABAJO FIN DE GRADO

$$\eta : \underline{0.112} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.926 m del nudo N43, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.331} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.926 m del nudo N43, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H3$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.305} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{2.949} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{110.44} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : 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 - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N85, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.006} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N85, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H3$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.009} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{1.967} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.  **$W_{pl,z}$  :** 73.67 cm<sup>3</sup>

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.  **$f_{vd}$  :** 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**$f_v$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  **$f_v$  :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**$\gamma_{MO}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.  **$\gamma_{MO}$  :** 1.05

### **Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.055} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N43, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

**$V_{Ed}$ :** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  **$V_{Ed}$  :** 1.232 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  **$V_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$\mathbf{V_{c,Rd}} : \underline{22.340} \text{ t}$$

Donde:

**$A_v$ :** Área transversal a cortante.  **$A_v$  :** 14.49 cm<sup>2</sup>

Siendo:

**$d$ :** Altura del alma.  **$d$  :** 134.20 mm

**$t_w$ :** Espesor del alma.  **$t_w$  :** 5.40 mm

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.  **$f_{vd}$  :** 2669.77 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**$f_v$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  **$f_v$  :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**$\gamma_{MO}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.  **$\gamma_{MO}$  :** 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:

$$\mathbf{24.85} < \mathbf{64.71} \quad \checkmark$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.  $\lambda_w : \underline{24.85}$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.  $\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$

$\epsilon$ : Factor de reducción.  $\epsilon : \underline{0.92}$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.  $f_{ref} : \underline{2395.51}$  kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{2803.26}$  kp/cm<sup>2</sup>

### **Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{0.002}$  t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$V_{c,Rd} : \underline{12.466}$  t

Donde:

$A_v$ : rea transversal a cortante.  $A_v : \underline{8.09}$  cm<sup>2</sup>

Siendo:

$A$ : rea de la sección bruta.  $A : \underline{22.58}$  cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.  $d : \underline{134.20}$  mm

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w : \underline{5.40}$  mm

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{vd} : \underline{2669.77}$  kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{2803.26}$  kp/cm<sup>2</sup>

$\gamma_{M0}$ : 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:

$$15.19 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$$\lambda_w: \text{Esbeltz del alma.} \quad \lambda_w : \underline{15.19}$$

$$\lambda_{\text{m\acute{a}x}}: \text{Esbeltz m\acute{a}xima.} \quad \lambda_{\text{m\acute{a}x}} : \underline{64.71}$$

$$\varepsilon: \text{Factor de reducci3n.} \quad \varepsilon : \underline{0.92}$$

Siendo:

$$f_{\text{ref}}: \text{L\acute{i}mite el\acute{a}stico de referencia.} \quad f_{\text{ref}} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y: \text{L\acute{i}mite el\acute{a}stico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

#### **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Art\uc3culo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de c\acalculo a flexi3n, ya que el esfuerzo cortante solicitante de c\acalculo p\ac3simo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de c\acalculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$1.232 \text{ t} \leq 11.170 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de c\acalculo p\ac3simos se producen para la combinaci3n de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de c\acalculo p\ac3simo.} \quad V_{Ed} : \underline{1.232} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de c\acalculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{22.340} \text{ t}$$

#### **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Art\uc3culo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de c\acalculo a flexi3n, ya que el esfuerzo cortante solicitante de c\acalculo p\ac3simo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de c\acalculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$0.002 \text{ t} \leq 6.233 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de c\acalculo p\ac3simos se producen para la combinaci3n de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de c\acalculo p\ac3simo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.002} \text{ t}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$  : 12.466 t

### Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.743 ✓

$\eta$  : 0.004 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.926 m del nudo N43, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H3$ .

Donde:

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$  : 38.316 t

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}$  : 0.305 t·m

$M_{z,Ed}$  : 0.008 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.

$N_{pl,Rd}$  : 60.286 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.

$M_{pl,Rd,y}$  : 2.949 t·m

$M_{pl,Rd,z}$  : 1.967 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

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$ : Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$\sigma_{com,Ed}$  : 0.00 kp/cm<sup>2</sup>

$W_{y,com}$ : Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$W_{y,com}$  : 110.44 cm<sup>3</sup>

**A**: Área de la sección bruta.

**A** : 22.58 cm<sup>2</sup>

$M_{b,Rd,y}$ : Momento flector resistente de cálculo.

$M_{b,Rd,y}$  : 2.949 t·m

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (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  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

**1.232 t ≤ 11.164 t** ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.232} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{22.329} \text{ t}$$

### Resistencia a torsión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H4.

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.003} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{1.779} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{115.42} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.021} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N85, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.477} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$ : 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:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{22.329} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{22.340} \text{ t}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.79} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{115.49} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)$ .

$V_{Ed}$ : 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:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{12.465} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{12.466} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.13} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{115.49} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a tracción - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.434} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N85, para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H3.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.  $N_{t,Ed} : \underline{8.904} \text{ t}$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$N_{t,Rd} : \underline{20.537} \text{ t}$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$A : \underline{22.58} \text{ cm}^2$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$f_{y,\theta} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$k_{y,\theta} : \underline{0.32}$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$

### **Resistencia a compresión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$\eta : \underline{0.606} \checkmark$

$\eta : \underline{0.734} \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N43, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed} : \underline{12.451} \text{ t}$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$N_{c,Rd} : \underline{20.537} \text{ t}$

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.

$A : \underline{22.58} \text{ cm}^2$

## TRABAJO FIN DE GRADO

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.32}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

**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:

$$N_{b,Rd} : \underline{16.962} \text{ t}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{22.58} \text{ cm}^2$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.32}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0.83}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

Siendo:

$$\phi_y : \underline{0.72}$$

$$\phi_z : \underline{0.49}$$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.53}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.12}$$

$k_{\lambda,\theta}$ : Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{\lambda,\theta} : \underline{1.29}$$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{375.076} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{375.076} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{7841.188} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$ :  $\infty$ **Resistencia a flexión eje Y - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.122} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.926 m del nudo N43, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

 $M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.122} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.926 m del nudo N43, para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H3.

 $M_{Ed}^-$ : 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:

$$M_{c,Rd} : \underline{1.004} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{110.44} \text{ cm}^3$$

 $f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

 $f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

 $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 $k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.32}$$

 $\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

**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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N85, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

$$\mathbf{M_{Ed}^+}: \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{M_{Ed}^+}: \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N85, para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H3.

$$\mathbf{M_{Ed}^-}: \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{M_{Ed}^-}: \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $\mathbf{M_{c,Rd}}$  viene dado por:

$$\mathbf{M_{c,Rd}}: \underline{0.670} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.  **$W_{pl,z}$ :** 73.67 cm<sup>3</sup>

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.  **$f_{vd}$ :** 909.46 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**$f_{y,\theta}$ :** Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  **$f_{y,\theta}$ :** 909.46 kp/cm<sup>2</sup>

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  **$f_y$ :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**$k_{y,\theta}$ :** Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  **$k_{y,\theta}$ :** 0.32

**$\gamma_{M,\theta}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.  **$\gamma_{M,\theta}$ :** 1.00

### Resistencia a corte Z - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta: \underline{0.058} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N43, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

$$\mathbf{V_{Ed}}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{V_{Ed}}: \underline{0.442} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $\mathbf{V_{c,Rd}}$  viene dado por:

$$\mathbf{V_{c,Rd}}: \underline{7.610} \text{ t}$$

Donde:

**$A_v$ :** Área transversal a cortante.  **$A_v$ :** 14.49 cm<sup>2</sup>

Siendo:

**d**: Altura del alma.**d** : 134.20 mm**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.**t<sub>w</sub>** : 5.40 mm**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.**f<sub>yd</sub>** : 909.46 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

**f<sub>y,θ</sub>**: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.**f<sub>y,θ</sub>** : 909.46 kp/cm<sup>2</sup>**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)**f<sub>y</sub>** : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>**k<sub>y,θ</sub>**: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.**k<sub>y,θ</sub>** : 0.32**γ<sub>M,θ</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.**γ<sub>M,θ</sub>** : 1.00**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:

$$24.85 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma.**λ<sub>w</sub>** : 24.85**λ<sub>máx</sub>**: Esbeltez máxima.**λ<sub>máx</sub>** : 64.71**ε**: Factor de reducción.**ε** : 0.92

Siendo:

**f<sub>ref</sub>**: Límite elástico de referencia.**f<sub>ref</sub>** : 2395.51 kp/cm<sup>2</sup>**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)**f<sub>y</sub>** : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>**Resistencia a corte Y - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta < 0.001 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.**V<sub>Ed</sub>** : 0.001 t

## TRABAJO FIN DE GRADO

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{4.247} \text{ t}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{8.09} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{22.58} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{134.20} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{5.40} \text{ mm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{v,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{v,\theta} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{v,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{v,\theta} : \underline{0.32}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

### 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:

$$15.19 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{15.19}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

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 - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.442 \text{ t} \leq 3.805 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.442} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{7.610} \text{ t}$$

#### **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.001 \text{ t} \leq 2.123 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.001} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{4.247} \text{ t}$$

#### **Resistencia a flexión y axil combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.732} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.888} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.701} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.926 m del nudo N43, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{12.450} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.122} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

**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.

$$N_{pl,Rd} : \underline{20.537} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.004} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.670} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A:** Área de la sección bruta.

$$A : \underline{22.58} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{110.44} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{73.67} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.32}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.24}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.83}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.53}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.12}$$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : 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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $PP+0.5\cdot V(0^\circ)H2$ .

$$0.442 \text{ t} \leq 3.801 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed,z}$  : 0.442 t

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd,z}$  : 7.602 t

### Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.002 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H4.

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$  : 0.001 t·m

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$M_{T,Rd}$  : 0.606 t·m

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T$  : 115.42 cm<sup>3</sup>

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{vd}$  : 909.46 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$f_{y,\theta}$  : 909.46 kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$k_{y,\theta}$  : 0.32

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,\theta}$  : 1.00

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.016 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N85, para la combinación de acciones PP+0.2·N(R).

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.119 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:

## TRABAJO FIN DE GRADO

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{7.602} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$V_{pl,Rd} : \underline{7.610} \text{ t}$$

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.59} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{115.49} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$k_{y,\theta} : \underline{0.32}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H3.

$V_{Ed}$ : 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:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{4.244} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$V_{pl,Rd} : \underline{4.247} \text{ t}$$

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.37} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{115.49} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd} : \underline{909.46} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$f_{y,\theta}$ : 909.46 kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$k_{y,\theta}$ : 0.32

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,\theta}$ : 1.00

### 1.7 Barra de relleno celosía

Barra N114/N58

Perfil: SHS 80x80x4.0 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	$I_y^{(1)}$ (cm <sup>4</sup> )	$I_z^{(1)}$ (cm <sup>4</sup> )	$I_t^{(2)}$ (cm <sup>4</sup> )
N114	N58	2.369	11.74	110.63	110.63	180.25
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.	
$\beta$		1.00	1.00	0.00	0.00	
$L_K$		2.369	2.369	0.000	0.000	
$C_m$		1.000	1.000	1.000	1.000	
$C_1$		-		1.000		
Notación: $\beta$ : Coeficiente de pandeo $L_K$ : Longitud de pandeo (m) $C_m$ : Coeficiente de momentos $C_1$ : Factor de modificación para el momento crítico						
Situación de incendio						
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 261.29 m <sup>-1</sup> Temperatura máx. de la barra: 607.5 °C Pintura intumescente: 1.6 mm						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE													Estado		
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_{wv}$	$N_t$	$N_c$	$M_y$	$M_z$	$V_z$	$V_y$	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$NM_y M_z$	$NM_y M_z V_y V_z$	$M_t$		$M_t V_z$	$M_t V_y$
N114/N58	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.385 m $\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv,max}$ Cumple	x: 2.252 m $\eta = 34.7$	x: 0.177 m $\eta = 88.8$	x: 1.216 m $\eta = 0.6$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0.177 m $\eta = 0.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(2)</sup>	x: 0.385 m $\eta < 0.1$	N.P. <sup>(3)</sup>	x: 1.216 m $\eta = 89.7$	x: 0.385 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	<b>CUMPLE</b> $\eta = 89.7$

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.

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	$N_t$	$N_c$	$M_y$	$M_z$	$V_z$	$V_y$	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$NM_y M_z$	$NM_y M_z V_y V_z$	$M_t$	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
N114/N58	x: 2.252 m $\eta = 13.3$	x: 0.177 m $\eta = 89.2$	x: 1.216 m $\eta = 0.9$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0.177 m $\eta = 0.2$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(2)</sup>	x: 0.385 m $\eta < 0.1$	N.P. <sup>(3)</sup>	x: 1.216 m $\eta = 90.6$	x: 0.385 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	<b>CUMPLE</b> $\eta = 90.6$

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.

# TRABAJO FIN DE GRADO

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>Y</sub>	M <sub>Z</sub>	V <sub>Z</sub>	V <sub>Y</sub>	M <sub>Y</sub> V <sub>Z</sub>	M <sub>Z</sub> V <sub>Y</sub>	NM <sub>Y</sub> M <sub>Z</sub>	NM <sub>Y</sub> M <sub>Z</sub> V <sub>Y</sub> V <sub>Z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>Z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>Y</sub>	
Notación: N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>Y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>Z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>Z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>Y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>Y</sub> V <sub>Z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>Z</sub> V <sub>Y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>Y</sub> M <sub>Z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>Y</sub> M <sub>Z</sub> V <sub>Y</sub> V <sub>Z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>Z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>Y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede														

## Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente (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.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.89} \quad \checkmark$$

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 :** 11.74 cm<sup>2</sup>

**f<sub>v</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>v</sub> :** 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico. **N<sub>cr</sub> :** 41.643 t

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** 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<sub>cr,y</sub> :** 41.643 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N<sub>cr,z</sub> :** 41.643 t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **N<sub>cr,T</sub> :** ∞

Donde:

**I<sub>y</sub>:** Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I<sub>y</sub> :** 110.63 cm<sup>4</sup>

**I<sub>z</sub>:** Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I<sub>z</sub> :** 110.63 cm<sup>4</sup>

**I<sub>t</sub>:** Momento de inercia a torsión uniforme. **I<sub>t</sub> :** 180.25 cm<sup>4</sup>

**I<sub>w</sub>:** Constante de alabeo de la sección. **I<sub>w</sub> :** 0.00 cm<sup>6</sup>

**E:** Módulo de elasticidad. **E :** 2140673 kp/cm<sup>2</sup>

**G:** Módulo de elasticidad transversal. **G :** 825688 kp/cm<sup>2</sup>

**L<sub>ky</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L<sub>ky</sub> :** 2.369 m

**L<sub>kz</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L<sub>kz</sub> :** 2.369 m

**L<sub>kt</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L<sub>kt</sub> :** 0.000 m

**i<sub>0</sub>:** Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i<sub>0</sub> :** 4.34 cm

Siendo:

**i<sub>y</sub> , i<sub>z</sub>:** Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. **i<sub>y</sub> :** 3.07 cm  
**i<sub>z</sub> :** 3.07 cm

**y<sub>0</sub> , z<sub>0</sub>:** Coordenadas del centro de torsión en la dirección **y<sub>0</sub> :** 0.00 mm

de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida - Temperatura ambiente** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$18.00 \leq 307.36 \checkmark$$

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$$h_w : \underline{72.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

$A_w$ : Área del alma.

$$A_w : \underline{5.76} \text{ cm}^2$$

$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{3.20} \text{ cm}^2$$

$k$ : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

$f_{vf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{vf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**Resistencia a tracción - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.347} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.252 m del nudo N114, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H3.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{10.862} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{31.339} \text{ t}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{11.74} \text{ cm}^2$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

### Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.539} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.888} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.177 m del nudo N114, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{16.883} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{31.339} \text{ t}$$

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.

$$A : \underline{11.74} \text{ cm}^2$$

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**$f_v$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**$\gamma_{M0}$ :** 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:

$$N_{b,Rd} : \underline{19.012} \text{ t}$$

Donde:

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{11.74} \text{ cm}^2$$

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**$f_v$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**$\gamma_{M1}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

**$\chi$ :** Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_v : \underline{0.61}$$

$$\chi_z : \underline{0.61}$$

Siendo:

$$\phi_v : \underline{1.06}$$

$$\phi_z : \underline{1.06}$$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.89}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.89}$$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{41.643} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{41.643} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{41.643} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

### Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.006} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.216 m del nudo N114, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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:

$$M_{c,Rd} : \underline{0.926} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{34.69} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a flexión eje Z - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

## TRABAJO FIN DE GRADO

### Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.177 m del nudo N114, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$\mathbf{V_{Ed}}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{V_{Ed}} : \underline{0.012} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $\mathbf{V_{c,Rd}}$  viene dado por:

$$\mathbf{V_{c,Rd}} : \underline{8.878} \text{ t}$$

Donde:

$$\mathbf{A_v}: \text{Área transversal a cortante.} \quad \mathbf{A_v} : \underline{5.76} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$$\mathbf{d}: \text{Altura del alma.} \quad \mathbf{d} : \underline{72.00} \text{ mm}$$

$$\mathbf{t_w}: \text{Espesor del alma.} \quad \mathbf{t_w} : \underline{4.00} \text{ mm}$$

$$\mathbf{f_{vd}}: \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad \mathbf{f_{vd}} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$\mathbf{f_y}: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad \mathbf{f_y} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\mathbf{\gamma_{M0}}: \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \mathbf{\gamma_{M0}} : \underline{1.05}$$

### 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:

$$\mathbf{18.00} < \mathbf{64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

$$\mathbf{\lambda_w}: \text{Esbeltez del alma.} \quad \mathbf{\lambda_w} : \underline{18.00}$$

$$\mathbf{\lambda_{m\acute{a}x}}: \text{Esbeltez máxima.} \quad \mathbf{\lambda_{m\acute{a}x}} : \underline{64.71}$$

$$\mathbf{\varepsilon}: \text{Factor de reducción.} \quad \mathbf{\varepsilon} : \underline{0.92}$$

Siendo:

$$\mathbf{f_{ref}}: \text{Límite elástico de referencia.} \quad \mathbf{f_{ref}} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

$$\mathbf{f_y}: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad \mathbf{f_y} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$



## TRABAJO FIN DE GRADO

la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{31.339} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{0.926} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.926} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{11.74} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{34.69} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{34.69} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.61}$$

$$k_z : \underline{1.61}$$

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.61}$$

$$\chi_z : \underline{0.61}$$

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.89}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.89}$$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : 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 - Temperatura ambiente** (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 0.385 m del nudo N114, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$0.008 \text{ t} \leq 4.439 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.008} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{8.878} \text{ t}$$

### **Resistencia a torsión - Temperatura ambiente** (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 - Temperatura ambiente** (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 - Temperatura ambiente** (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 tracción - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.133} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.252 m del nudo N114, para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H3.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{1.984} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{14.880} \text{ t}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{11.74} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{1267.61} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{1267.61} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.45}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

**Resistencia a compresión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.432} \quad \checkmark$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

$$\eta : \underline{0.892} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.177 m del nudo N114, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{6.427} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{14.880} \text{ t}$$

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.

$$A : \underline{11.74} \text{ cm}^2$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{1267.61} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{1267.61} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.45}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

**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:

$$N_{b,Rd} : \underline{7.206} \text{ t}$$

Donde:

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{11.74} \text{ cm}^2$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{1267.61} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{1267.61} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.45}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_v : \underline{0.48}$$

$$\chi_z : \underline{0.48}$$

Siendo:

 $\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica. $\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida. $k_{\lambda,\theta}$ : Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil. $N_{cr}$ : 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.

$$\phi_y : 1.33$$

$$\phi_z : 1.33$$

$$\alpha_y : 0.49$$

$$\alpha_z : 0.49$$

$$\bar{\lambda}_y : 1.10$$

$$\bar{\lambda}_z : 1.10$$

$$k_{\lambda,\theta} : 1.24$$

$$N_{cr} : 41.643 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 41.643 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 41.643 \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \infty$$

**Resistencia a flexión eje Y - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.009 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.216 m del nudo N114, para la combinación de acciones PP.

 $M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : 0.004 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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:

$$M_{c,Rd} : 0.440 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : 34.69 \text{ cm}^3$$

 $f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : 1267.61 \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

 $f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : 1267.61 \text{ kp/cm}^2$$

 $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 2803.26 \text{ kp/cm}^2$$

 $k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la

$$k_{y,\theta} : 0.45$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

temperatura que alcanza el perfil.  
 $\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

### **Resistencia a flexión eje Z - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

### **Resistencia a corte Z - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.177 m del nudo N114, para la combinación de acciones PP.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.009} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{4.215} \text{ t}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{5.76} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{72.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{1267.61} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{1267.61} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.45}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

### **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:

$$18.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.  $\lambda_w$  : 18.00

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.  $\lambda_{m\acute{a}x}$  : 64.71

$\varepsilon$ : Factor de reducción.  $\varepsilon$  : 0.92

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.  $f_{ref}$  : 2395.51 kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

#### **Resistencia a corte Y - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

#### **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.006 \text{ t} \leq 2.108 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.385 m del nudo N114, para la combinación de acciones PP.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 0.006 t

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd}$  : 4.215 t

#### **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.440} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.906} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.900} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.216 m del nudo N114, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H2.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{6.420} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.004} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**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.

$$N_{pl,Rd} : \underline{14.880} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{0.440} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.440} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A**: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{11.74} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{34.69} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{34.69} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{1267.61} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{1267.61} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.45}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.71}$$

$$k_z : \underline{1.71}$$

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.48}$$

$$\chi_z : \underline{0.48}$$

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.10}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.10}$$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : 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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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 0.385 m del nudo N114, para la combinación de acciones PP.

$$0.006 \text{ t} \leq 2.108 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.006} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{4.215} \text{ t}$$

**Resistencia a torsión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

1.8 Tirante Cruz de San Andrés

Barra N25/N206

Perfil: R 16 Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>v</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N25	N206	6.779	2.01	0.32	0.32	0.64	
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 <sub>K</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000		
	C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							
Situación de incendio							
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 250.00 m-1 Temperatura máx. de la barra: 684.0 °C Pintura intumescente: 1.2 mm							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N25/N206	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	η = 68.2	N <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(7)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 68.2
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.															
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado	
	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>		
N25/N206	η = 80.1	N <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(7)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	<b>CUMPLE</b> η = 80.1	
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.															
Notación: N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															

**Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente** (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.

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**f<sub>v</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{A} : \underline{2.01} \text{ cm}^2$$

$$\mathbf{f}_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\mathbf{N}_{cr} : \underline{\infty}$$

### **Resistencia a tracción - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.682} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H4.

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N}_{t,Ed} : \underline{3.660} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N<sub>t,Rd</sub>** viene dada por:

$$\mathbf{N}_{t,Rd} : \underline{5.368} \text{ t}$$

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra.

**f<sub>vd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{A} : \underline{2.01} \text{ cm}^2$$

$$\mathbf{f}_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**f<sub>v</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**γ<sub>MO</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{f}_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\mathbf{\gamma}_{MO} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a compresión - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

### **Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

### **Resistencia a flexión eje Z - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

### **Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

## TRABAJO FIN DE GRADO

### **Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente** (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 - Temperatura ambiente** (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 - Temperatura ambiente** (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 - Temperatura ambiente** (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 - Temperatura ambiente** (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 - Temperatura ambiente** (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 - Temperatura ambiente** (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 - Temperatura ambiente** (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 tracción - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.801} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $PP+0.5 \cdot V(0^\circ)H_4$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$ : 1.211 t

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{1.512} \text{ t}$$

Donde:

**A:** Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{2.01} \text{ cm}^2$$

**$f_{vd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{751.89} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**$f_{y,\theta}$ :** Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{751.89} \text{ kp/cm}^2$$

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**$k_{y,\theta}$ :** Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.27}$$

**$\gamma_{M,\theta}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

#### **Resistencia a compresión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

#### **Resistencia a flexión eje Y - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

#### **Resistencia a flexión eje Z - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

#### **Resistencia a corte Z - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

#### **Resistencia a corte Y - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

#### **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

## TRABAJO FIN DE GRADO

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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### **Resistencia a torsión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

## 1.9 Montante Cruz de San Andrés

Barra N204/N206

Perfil: SHS 91.5x91.5x4.5 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N204	N206	5.555	15.13	186.90	186.90	304.09
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> 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 <sub>K</sub>	5.555	5.555	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						
Situación de incendio						
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 232.09 m <sup>-1</sup> Temperatura máx. de la barra: 661.0 °C Pintura intumescente: 1.2 mm						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE													Estado		
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_{wv}$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>
N204/N206	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv, \text{máx}}$ Cumple	η = 0.4	η = 34.5	x: 5.555 m η = 9.4	x: 0.135 m η = 3.3	x: 5.555 m η = 0.7	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 5.555 m η = 46.7	η < 0.1	η = 4.8	x: 0.135 m η = 0.4	η = 0.1	<b>CUMPLE</b> η = 46.7
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado		

	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>	
N204/N206	η = 0.4	η = 52.4	x: 5.555 m η = 12.5	x: 0.135 m η = 3.5	x: 0.135 m η = 1.1	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 5.555 m η = 70.5	η < 0.1	η = 4.7	x: 0.135 m η = 0.9	η = 0.1	<b>CUMPLE</b> η = <b>70.5</b>
Notación: N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)														

### Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente (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.

$$\bar{\lambda} : \underline{1.82} \quad \checkmark$$

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.

$$\mathbf{A} : \underline{15.13} \text{ cm}^2$$

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f}_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{N}_{cr} : \underline{12.796} \text{ t}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\mathbf{N}_{cr,y} : \underline{12.796} \text{ t}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$\mathbf{N}_{cr,z} : \underline{12.796} \text{ t}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\mathbf{N}_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Donde:

**I<sub>y</sub>:** Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$\mathbf{I}_y : \underline{186.90} \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>:** Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$\mathbf{I}_z : \underline{186.90} \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>:** Momento de inercia a torsión uniforme.

$$\mathbf{I}_t : \underline{304.09} \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>:** Constante de alabeo de la sección.

$$\mathbf{I}_w : \underline{0.00} \text{ cm}^6$$

**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<sub>ky</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$\mathbf{L}_{ky} : \underline{5.555} \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$\mathbf{L}_{kz} : \underline{5.555} \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>:** Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$\mathbf{L}_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

**i<sub>0</sub>:** Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$\mathbf{i}_0 : \underline{4.97} \text{ cm}$$

Siendo:

**i<sub>y</sub> , i<sub>z</sub>:** Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$\mathbf{i}_y : \underline{3.52} \text{ cm}$$

$$\mathbf{i}_z : \underline{3.52} \text{ cm}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

$y_0, z_0$ : 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 - Temperatura ambiente** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$18.33 \leq 307.64 \checkmark$$

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.

$f_{vf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$h_w : \underline{82.50} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{4.50} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{7.43} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{4.12} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{vf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**Resistencia a tracción - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.004} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.144} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{40.384} \text{ t}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$A : \underline{15.13} \text{ cm}^2$$

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a compresión - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.079} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.345} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4$ . $N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{3.208} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{40.384} \text{ t}$$

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.

$$A : \underline{15.13} \text{ cm}^2$$

 $f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

 $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 $\gamma_{M0}$ : 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:

$$N_{b,Rd} : \underline{9.294} \text{ t}$$

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{15.13} \text{ cm}^2$$

 $f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

 $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 $\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

 $\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0.23}$$

$$\chi_z : \underline{0.23}$$

Siendo:

$$\phi_y : \underline{2.55}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$N_{cr}$ : 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.

$$\phi_z : \underline{2.55}$$

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.82}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.82}$$

$$N_{cr} : \underline{12.796} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{12.796} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{12.796} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

### Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.094} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N206, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.060} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N206, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.128} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{1.365} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{51.14} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a flexión eje Z - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.033} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N204, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$ . $M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.038} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N204, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ . $M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.046} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{1.365} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{51.14} \text{ cm}^3$$

 $f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

 $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 $\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.007} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N206, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4$ . $V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.077} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{11.445} \text{ t}$$

Donde:

## TRABAJO FIN DE GRADO

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{7.43} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{82.50} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.50} \text{ mm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : 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:

$$18.33 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.33}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$\epsilon$ : Factor de reducción.

$$\epsilon : \underline{0.92}$$

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 - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.009} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{11.871} \text{ t}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{7.70} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{15.13} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{82.50} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.50} \text{ mm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : 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:

$$20.33 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{20.33}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

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 - Temperatura ambiente** (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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.077 \text{ t} \leq 5.722 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.077} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{11.445} \text{ t}$$

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente** (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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.009 \text{ t} \leq 5.935 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.009} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{11.871} \text{ t}$$

**Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.177} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.467} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.421} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N206, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4$ .

Donde:

$$N_{c,Ed}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{3.202} \text{ t}$$

$$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: \text{Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{y,Ed}^- : \underline{0.128} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.} \quad \text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd}: \text{Resistencia a compresión de la sección bruta.} \quad N_{pl,Rd} : \underline{40.384} \text{ t}$$

$$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: \text{Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{pl,Rd,y} : \underline{1.365} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.365} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

$$A: \text{Área de la sección bruta.} \quad A : \underline{15.13} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y}, W_{pl,z}: \text{Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad W_{pl,y} : \underline{51.14} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{51.14} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd}: \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_v$  : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1}$  : 1.05

$k_y, k_z$ : Coeficientes de interacción.

$k_y$  : 1.28

$k_z$  : 1.28

$C_{m,y}, C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y}$  : 1.00

$C_{m,z}$  : 1.00

$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$\chi_y$  : 0.23

$\chi_z$  : 0.23

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$  : 1.82

$\bar{\lambda}_z$  : 1.82

$\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$\alpha_y$  : 0.60

$\alpha_z$  : 0.60

### **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente** (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+1.5·V(180°)H1.

**0.077 t ≤ 5.722 t** ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed,z}$  : 0.077 t

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd,z}$  : 11.445 t

### **Resistencia a torsión - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : **0.048** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

## TRABAJO FIN DE GRADO

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.050} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{1.049} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{68.08} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N204, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.047} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.047} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{Dl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{Dl,T,Rd} : \underline{10.933} \text{ t}$$

Donde:

$V_{Dl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Dl,Rd} : \underline{11.445} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{68.96} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{68.12} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)$ .

$$\mathbf{V}_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{V}_{Ed} : \underline{0.008} \text{ t}$$

$$\mathbf{M}_{T,Ed} : \text{Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{M}_{T,Ed} : \underline{0.047} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $\mathbf{V}_{Dl,T,Rd}$  viene dado por:

$$\mathbf{V}_{Dl,T,Rd} : \underline{11.340} \text{ t}$$

Donde:

$$\mathbf{V}_{Dl,Rd} : \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad \mathbf{V}_{Dl,Rd} : \underline{11.871} \text{ t}$$

$$\tau_{T,Ed} : \text{Tensiones tangenciales por torsión.} \quad \tau_{T,Ed} : \underline{68.96} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$\mathbf{W}_T : \text{Módulo de resistencia a torsión.} \quad \mathbf{W}_T : \underline{68.12} \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{f}_{vd} : \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad \mathbf{f}_{vd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$\mathbf{f}_v : \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad \mathbf{f}_v : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a tracción - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $PP + 0.5 \cdot V(270^\circ)H1$ .

$$\mathbf{N}_{t,Ed} : \text{Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{N}_{t,Ed} : \underline{0.048} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $\mathbf{N}_{t,Rd}$  viene dada por:

$$\mathbf{N}_{t,Rd} : \underline{13.706} \text{ t}$$

Donde:

$$\mathbf{A} : \text{Área bruta de la sección transversal de la barra.} \quad \mathbf{A} : \underline{15.13} \text{ cm}^2$$

$$\mathbf{f}_{vd} : \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad \mathbf{f}_{vd} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $f_{y,\theta}$ : 906.13 kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$ : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  $k_{y,\theta}$ : 0.32

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M,\theta}$ : 1.00

### **Resistencia a compresión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$\eta$ : 0.077 ✓

$\eta$ : 0.524 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H4.

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed}$ : 1.062 t

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$N_{c,Rd}$ : 13.706 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**: 15.13 cm<sup>2</sup>

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{vd}$ : 906.13 kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $f_{y,\theta}$ : 906.13 kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$ : 2803.26 kp/cm<sup>2</sup>

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  $k_{y,\theta}$ : 0.32

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M,\theta}$ : 1.00

### **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:

$N_{b,Rd}$ : 2.027 t

Donde:

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$\mathbf{A} : \underline{15.13} \text{ cm}^2$$

**f<sub>vd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{vd}} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

**f<sub>v,θ</sub>**: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$\mathbf{f_{v,\theta}} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

**f<sub>v</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_v} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**k<sub>v,θ</sub>**: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$\mathbf{k_{v,\theta}} : \underline{0.32}$$

**γ<sub>M,θ</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{M,\theta}} : \underline{1.00}$$

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\mathbf{\chi_v} : \underline{0.15}$$

$$\mathbf{\chi_z} : \underline{0.15}$$

Siendo:

$$\mathbf{\phi_v} : \underline{3.79}$$

$$\mathbf{\phi_z} : \underline{3.79}$$

**α**: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\mathbf{\alpha_v} : \underline{0.49}$$

$$\mathbf{\alpha_z} : \underline{0.49}$$

**λ̄**: Esbeltez reducida.

$$\mathbf{\bar{\lambda}_v} : \underline{2.35}$$

$$\mathbf{\bar{\lambda}_z} : \underline{2.35}$$

**k<sub>λ,θ</sub>**: Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.

$$\mathbf{k_{\lambda,\theta}} : \underline{1.29}$$

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$\mathbf{N_{cr}} : \underline{12.796} \text{ t}$$

**N<sub>cr,y</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\mathbf{N_{cr,y}} : \underline{12.796} \text{ t}$$

**N<sub>cr,z</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$\mathbf{N_{cr,z}} : \underline{12.796} \text{ t}$$

**N<sub>cr,T</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\mathbf{N_{cr,T}} : \underline{\infty}$$

### **Resistencia a flexión eje Y - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\mathbf{\eta} : \underline{0.125} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^+} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N206, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H4.

## TRABAJO FIN DE GRADO

$M_{Ed}^-$ : 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:

$$M_{c,Rd} : \underline{0.463} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{51.14} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.32}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

### Resistencia a flexión eje Z - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.035} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.011} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.016} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{0.463} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{51.14} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $f_{y,\theta} : \underline{906.13}$  kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{2803.26}$  kp/cm<sup>2</sup>

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  $k_{y,\theta} : \underline{0.32}$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$

### Resistencia a corte Z - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$\eta : \underline{0.011}$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{0.044}$  t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$V_{c,Rd} : \underline{3.884}$  t

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v : \underline{7.43}$  cm<sup>2</sup>

Siendo:

$d$ : Altura del alma.  $d : \underline{82.50}$  mm

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w : \underline{4.50}$  mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : \underline{906.13}$  kp/cm<sup>2</sup>

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.  $f_{y,\theta} : \underline{906.13}$  kp/cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{2803.26}$  kp/cm<sup>2</sup>

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.  $k_{y,\theta} : \underline{0.32}$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

## TRABAJO FIN DE GRADO

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$18.33 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.33}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$\epsilon$ : Factor de reducci3n.

$$\epsilon : \underline{0.92}$$

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 - Situaci3n de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cculo pésimo se produce para la combinaci3n de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.003} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{4.029} \text{ t}$$

Donde:

$A_v$ : rea transversal a cortante.

$$A_v : \underline{7.70} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$A$ : rea de la secci3n bruta.

$$A : \underline{15.13} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{82.50} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.50} \text{ mm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_v$ : <u>2803.26</u> kp/cm <sup>2</sup>
$k_{v,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.	$k_{v,\theta}$ : <u>0.32</u>
$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M,\theta}$ : <u>1.00</u>

**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:

$$20.33 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.  $\lambda_w$  : 20.33

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.  $\lambda_{m\acute{a}x}$  : 64.71

$\varepsilon$ : Factor de reducción.  $\varepsilon$  : 0.92

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.	$f_{ref}$ : <u>2395.51</u> kp/cm <sup>2</sup>
$f_v$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_v$ : <u>2803.26</u> kp/cm <sup>2</sup>

**Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.044 \text{ t} \leq 1.942 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 0.044 t

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd}$  : 3.884 t

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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  $V_{c,Rd}$ .

$$0.003 \text{ t} \leq 2.014 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>s</sup>imos se producen para la combinaci3n de acciones PP+0.5·V(180°)H1.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de c3lculo p3simo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.003} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de c3lculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{4.029} \text{ t}$$

**Resistencia a flexi3n y axil combinados - Situaci3n de incendio** (CTE DB SE-A, Art3culo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.207} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.705} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.636} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de c3lculo p<sup>s</sup>imos se producen en el nudo N206, para la combinaci3n de acciones PP+0.5·V(0°)H4.

Donde:

$$N_{c,Ed}: \text{Axil de compresi3n solicitante de c3lculo p3simo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{1.062} \text{ t}$$

$$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: \text{Momentos flectores solicitantes de c3lculo p3simos, seg3n los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{y,Ed}^- : \underline{0.058} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase: Clase de la secci3n, seg3n la capacidad de deformaci3n y de desarrollo de la resistencia pl3stica de sus elementos planos, para axil y flexi3n simple.} \quad \text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd}: \text{Resistencia a compresi3n de la secci3n bruta.} \quad N_{pl,Rd} : \underline{13.706} \text{ t}$$

$$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: \text{Resistencia a flexi3n de la secci3n bruta en condiciones pl3sticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{pl,Rd,y} : \underline{0.463} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.463} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Art3culo 6.3.4.2)

$$A: \text{3rea de la secci3n bruta.} \quad A : \underline{15.13} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y}, W_{pl,z}: \text{M3dulos resistentes pl3sticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad W_{pl,y} : \underline{51.14} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{51.14} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd}: \text{Resistencia de c3lculo del acero.} \quad f_{vd} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{y,\theta}: \text{L3mite el3stico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad f_{y,\theta} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y: \text{L3mite el3stico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$k_{y,\theta}: \text{Factor de reducci3n del l3mite el3stico para la temperatura} \quad k_{y,\theta} : \underline{0.32}$$

que alcanza el perfil.

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

$k_y, k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.42}$$

$$k_z : \underline{1.42}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.15}$$

$$\chi_z : \underline{0.15}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{2.35}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{2.35}$$

$\alpha_y, \alpha_z$ : 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 - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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 PP+0.5·V(180°)H1.

$$0.044 \text{ t} \leq 1.942 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.044} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{3.884} \text{ t}$$

### **Resistencia a torsión - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.047} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H1.

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.017} \text{ t}\cdot\text{m}$$

## TRABAJO FIN DE GRADO

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} : \underline{0.356} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{68.08} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.32}$$

$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.009} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.135 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H4.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.035} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.016} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{3.714} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{3.884} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{22.99} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{68.12} \text{ cm}^3$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$ : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y$ : <u>2803.26</u> kp/cm <sup>2</sup>
$k_{y,\theta}$ : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.	$k_{y,\theta}$ : <u>0.32</u>
$\gamma_{M,\theta}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M,\theta}$ : <u>1.00</u>

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H4.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.003} \text{ t}$$

$$M_{T,Ed}: \text{Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{T,Ed} : \underline{0.016} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{Dl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{Dl,T,Rd} : \underline{3.852} \text{ t}$$

Donde:

$$V_{Dl,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.}$$

$$V_{Dl,Rd} : \underline{4.029} \text{ t}$$

$$\tau_{T,Ed}: \text{Tensiones tangenciales por torsión.}$$

$$\tau_{T,Ed} : \underline{22.99} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$W_T: \text{Módulo de resistencia a torsión.}$$

$$W_T : \underline{68.12} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd}: \text{Resistencia de cálculo del acero.}$$

$$f_{vd} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{y,\theta}: \text{Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.}$$

$$f_{y,\theta} : \underline{906.13} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)}$$

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$k_{y,\theta}: \text{Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.}$$

$$k_{y,\theta} : \underline{0.32}$$

$$\gamma_{M,\theta}: \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.}$$

$$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$$

## 2 Comprobaciones de los anclajes

### 2.1 Anclaje pilares esquina

1) Pilar HE 280 A

#### Cordones de soldadura

##### Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo ( $\alpha$ ) comprendido entre  $60^\circ$  y  $120^\circ$ . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si  $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$  No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si  $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$  Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

##### Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

siendo

$\beta_w$ : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

$f_u$ : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_\perp$ : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{||}$ : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_\perp$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{||}$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	6	1400	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_\perp$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_\perp$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

## 2) Placa de anclaje

Referencia:		
-Placa base: Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 25 mm -Pernos: 10Ø20 mm L=45 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x5.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 60 mm Calculado: 120 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 45 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 46.6	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 23 cm Calculado: 45 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 7.842 t Calculado: 4.832 t Máximo: 5.489 t Calculado: 0.679 t Máximo: 7.842 t Calculado: 5.801 t	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 10.243 t Calculado: 4.556 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 3883.31 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1502.41 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 26.698 t Calculado: 0.636 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 2669.77 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 548.698 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 522.884 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1675.35 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1505.81 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 4395.24 Calculado: 5522.72 Calculado: 7235.41 Calculado: 7438.75	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2669.77 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 723.169 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		

## TRABAJO FIN DE GRADO

### Referencia:

- Placa base: Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 25 mm
- Pernos: 10Ø20 mm L=45 cm Prolongación recta
- Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada
- Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x0x5.0)

Comprobación	Valores	Estado
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.129		
- Punto de tensión local máxima: (0.0466667, 0.255)		

## Cordones de soldadura

### Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo ( $\alpha$ ) comprendido entre  $60^\circ$  y  $120^\circ$ . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si  $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$  No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si  $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$  Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

### Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

siendo

$\beta_w$ : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

$f_u$ : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_{\perp}$ : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{\parallel}$ : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_{\perp}$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{\parallel}$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

### Resistencia de cálculo de las soldaduras a tope (CTE DB SE-A 8.6.3).

En uniones a tope con penetración parcial la resistencia de cálculo se determinará como la de los cordones de soldadura en ángulo, teniendo en cuenta lo siguiente:

- a) el espesor de garganta será la profundidad de la penetración que se pueda conseguir de forma estable, que se debe determinar mediante evidencia experimental previa.

para el caso de que se tenga preparación de bordes en U, V, J o recto, se tomará como espesor de garganta el canto nominal de la preparación menos 2,0 mm, a menos que se puedan justificar experimentalmente valores superiores.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)			
Rigidizador y-y (x = -143): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	--	450	5.0	90.00			
Rigidizador y-y (x = 143): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	--	450	5.0	90.00			
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	10	63	20.0	90.00			
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -143): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 143): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	88.9	154.0	39.91	0.0	0.00	410.0	0.85

## 2.2 Anclaje pilarillos hastiales

### 1) Pilar IPE 450

#### Cordones de soldadura

##### Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si  $a > 120^\circ \Rightarrow$  No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si  $a < 60^\circ \Rightarrow$  Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

##### Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

## TRABAJO FIN DE GRADO

siendo

$\beta_w$ : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

$f_u$ : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_{\perp}$ : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{\parallel}$ : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_{\perp}$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{\parallel}$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	7	1415	9.4	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

### 2) Placa de anclaje

Referencia:		
-Placa base: Ancho X: 500 mm Ancho Y: 800 mm Espesor: 25 mm		
-Pernos: 12Ø25 mm L=65 cm Prolongación recta		
-Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada		
-Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(200x25x10.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 75 mm Calculado: 127 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 37 mm Calculado: 60 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 46	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 29 cm Calculado: 65 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 14.159 t Calculado: 12.767 t	Cumple
- Cortante:	Máximo: 9.911 t Calculado: 0.747 t	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 14.159 t Calculado: 13.834 t	Cumple

Referencia: -Placa base: Ancho X: 500 mm Ancho Y: 800 mm Espesor: 25 mm -Pernos: 12Ø25 mm L=65 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(200x25x10.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 16.016 t Calculado: 11.975 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 3883.31 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 2454.4 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 33.372 t Calculado: 0.701 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 2669.77 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 665.498 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 675.896 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 2033.7 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1907.17 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 7335.29 Calculado: 7335.29 Calculado: 4423.44 Calculado: 4718.17	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2669.77 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1858.84 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.213 - Punto de tensión local máxima: (-0.095, 0.225)		

## Cordones de soldadura

### Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo ( $\alpha$ ) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si  $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$  No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si  $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$  Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

### Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

## TRABAJO FIN DE GRADO

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

siendo

$\beta_w$ : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

$f_u$ : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_{\perp}$ : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{\parallel}$ : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_{\perp}$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{\parallel}$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

### Resistencia de cálculo de las soldaduras a tope (CTE DB SE-A 8.6.3).

En uniones a tope con penetración parcial la resistencia de cálculo se determinará como la de los cordones de soldadura en ángulo, teniendo en cuenta lo siguiente:

a) el espesor de garganta será la profundidad de la penetración que se pueda conseguir de forma estable, que se debe determinar mediante evidencia experimental previa.

para el caso de que se tenga preparación de bordes en U, V, J o recto, se tomará como espesor de garganta el canto nominal de la preparación menos 2,0 mm, a menos que se puedan justificar experimentalmente valores superiores.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)			
Rigidizador y-y (x = -100): Soldadura a la placa base	En ángulo	7	--	800	10.0	90.00			
Rigidizador y-y (x = 100): Soldadura a la placa base	En ángulo	7	--	800	10.0	90.00			
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	10	79	25.0	90.00			
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -100): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 100): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	187.0	323.9	83.93	0.0	0.00	410.0	0.85

## 2.3 Anclaje pilares de los pórticos segundos

1) Pilar HE 280 A

Cordones de soldadura

**Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).**

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo ( $\alpha$ ) comprendido entre  $60^\circ$  y  $120^\circ$ . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si  $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$  No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si  $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$  Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

**Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).**

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

siendo

$\beta_w$ : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

$f_u$ : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_\perp$ : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{||}$ : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_\perp$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{||}$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	6	1400	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_\perp$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_\perp$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

## TRABAJO FIN DE GRADO

Referencia:		
-Placa base: Ancho X: 450 mm Ancho Y: 450 mm Espesor: 25 mm -Pernos: 12Ø20 mm L=55 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(150x0x8.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 60 mm Calculado: 120 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 45 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 37.9	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 23 cm Calculado: 55 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 9.585 t Calculado: 8.038 t Máximo: 6.709 t Calculado: 0.651 t Máximo: 9.585 t Calculado: 8.968 t	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 10.243 t Calculado: 7.619 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 3883.31 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 2455.2 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 26.698 t Calculado: 0.613 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 2669.77 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 755.551 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 684.245 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1074.32 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1164.55 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 7233.59 Calculado: 5738.48 Calculado: 16323.4 Calculado: 14173.2	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2669.77 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1256.22 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.266 - Punto de tensión local máxima: (0.0466667, 0.255)		

Cordones de soldadura

**Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).**

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo ( $a$ ) comprendido entre  $60^\circ$  y  $120^\circ$ . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si  $a > 120^\circ \Rightarrow$  No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si  $a < 60^\circ \Rightarrow$  Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

**Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).**

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

siendo

$\beta_w$ : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

$f_u$ : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_\perp$ : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{||}$ : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_\perp$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{||}$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

**Resistencia de cálculo de las soldaduras a tope (CTE DB SE-A 8.6.3).**

En uniones a tope con penetración parcial la resistencia de cálculo se determinará como la de los cordones de soldadura en ángulo, teniendo en cuenta lo siguiente:

- a) el espesor de garganta será la profundidad de la penetración que se pueda conseguir de forma estable, que se debe determinar mediante evidencia experimental previa.

para el caso de que se tenga preparación de bordes en U, V, J o recto, se tomará como espesor de garganta el canto nominal de la preparación menos 2,0 mm, a menos que se puedan justificar experimentalmente valores superiores.

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Rigidizador y-y ( $x = -144$ ): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	--	450	8.0	90.00
Rigidizador y-y ( $x = 144$ ): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	--	450	8.0	90.00

## TRABAJO FIN DE GRADO

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)			l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	10			63	20.0	90.00	
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -144): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 144): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	148.7	257.5	66.74	0.0	0.00	410.0	0.85

## 2.4 Anclaje pilares de los pórticos centrales

1) Pilar HE 280 A

### Cordones de soldadura

#### Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo ( $\alpha$ ) comprendido entre  $60^\circ$  y  $120^\circ$ . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si  $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$  No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si  $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$  Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

#### Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

siendo

$\beta_w$ : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

$f_u$ : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_\perp$ : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_\parallel$ : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_\perp$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_\parallel$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas								
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)			
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	6	1400	8.0	90.00			
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>								
Comprobación de resistencia								
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_\perp$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_\perp$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_\parallel$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm <sup>2</sup> )		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.						410.0	0.85

## TRABAJO FIN DE GRADO

### 2) Placa de anclaje

Referencia:		
-Placa base: Ancho X: 550 mm Ancho Y: 550 mm Espesor: 25 mm -Pernos: 12Ø25 mm L=60 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(180x0x8.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 75 mm Calculado: 154 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 37 mm Calculado: 45 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 49.4	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 29 cm Calculado: 60 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 13.07 t Calculado: 11.002 t Máximo: 9.149 t Calculado: 0.82 t Máximo: 13.07 t Calculado: 12.174 t	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 16.016 t Calculado: 10.382 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 3883.31 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 2136.05 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 33.372 t Calculado: 0.772 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 2669.77 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1314.83 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 1276.28 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 2118.17 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 2010.98 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 2821.7 Calculado: 2945.75 Calculado: 4837.24 Calculado: 5116.36	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2669.77 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 2235.07 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.224		

## Referencia:

- Placa base: Ancho X: 550 mm Ancho Y: 550 mm Espesor: 25 mm
- Pernos: 12Ø25 mm L=60 cm Prolongación recta
- Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada
- Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(180x0x8.0)

Comprobación	Valores	Estado
- Punto de tensión local máxima: (0.14, 0.415)		

## Cordones de soldadura

**Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).**

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo ( $\alpha$ ) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si  $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$  No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si  $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$  Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

**Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).**

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

siendo

$\beta_w$ : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

$f_u$ : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_{\perp}$ : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{\parallel}$ : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_{\perp}$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{\parallel}$ : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

**Resistencia de cálculo de las soldaduras a tope (CTE DB SE-A 8.6.3).**

En uniones a tope con penetración parcial la resistencia de cálculo se determinará como la de los cordones de soldadura en ángulo, teniendo en cuenta lo siguiente:

- a) el espesor de garganta será la profundidad de la penetración que se pueda conseguir de forma estable, que se debe determinar mediante evidencia experimental previa.

## TRABAJO FIN DE GRADO

para el caso de que se tenga preparación de bordes en U, V, J o recto, se tomará como espesor de garganta el canto nominal de la preparación menos 2,0 mm, a menos que se puedan justificar experimentalmente valores superiores.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)			
Rigidizador y-y (x = -144): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	--	550	8.0	90.00			
Rigidizador y-y (x = 144): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	--	550	8.0	90.00			
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	10	79	25.0	90.00			
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -144): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 144): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	162.1	280.8	72.76	0.0	0.00	410.0	0.85

### 3 Comprobaciones en las zapatas

#### 3.1 Zapata tipo A

Referencia: (N1 - N5) Dimensiones: 800 x 320 x 80 Armados: Xi:Ø16c/27 Yi:Ø16c/27 Xs:Ø16c/27 Ys:Ø16c/27		
Comprobación	Valores	Estado
<b>Tensiones sobre el terreno:</b> <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i> - Tensión media en situaciones persistentes: - Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento: - Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.51 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 0.254 kp/cm <sup>2</sup> Máximo: 0.637 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 0.299 kp/cm <sup>2</sup> Máximo: 0.637 kp/cm <sup>2</sup> Calculado: 0.419 kp/cm <sup>2</sup>	Cumple Cumple Cumple
<b>Vuelco de la zapata:</b> <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i> - En dirección X: - En dirección Y:	Reserva seguridad: 793.3 % Reserva seguridad: 170.6 %	Cumple Cumple
<b>Flexión en la zapata:</b> - En dirección X: - En dirección Y:	Momento: 5.24 t·m Momento: 14.03 t·m	Cumple Cumple
<b>Cortante en la zapata:</b> - En dirección X: - En dirección Y:	Cortante: 4.34 t Cortante: 10.52 t	Cumple Cumple
<b>Compresión oblicua en la zapata:</b> - Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 611.62 t/m <sup>2</sup> Calculado: 8.72 t/m <sup>2</sup>	Cumple
<b>Canto mínimo:</b> <i>Artículo 59.8.1 de la norma EHE-98</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 80 cm	Cumple
<b>Espacio para anclar arranques en cimentación:</b> - N1: - N5:	Calculado: 72 cm Mínimo: 45 cm Mínimo: 55 cm	Cumple Cumple
<b>Cuantía geométrica mínima:</b> <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i> - En dirección X: - En dirección Y:	Mínimo: 0.0018 Calculado: 0.0019 Calculado: 0.0019	Cumple Cumple
<b>Cuantía mínima necesaria por flexión:</b> <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-98</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0002 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001	Cumple Cumple Cumple Cumple

## TRABAJO FIN DE GRADO

Referencia: (N1 - N5) Dimensiones: 800 x 320 x 80 Armados: Xi:Ø16c/27 Yi:Ø16c/27 Xs:Ø16c/27 Ys:Ø16c/27		
Comprobación	Valores	Estado
<p>Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 59.8.2 (norma EHE-98)</i></p> <p>- Parrilla inferior:</p> <p>- Parrilla superior:</p>	<p>Mínimo: 12 mm</p> <p>Calculado: 16 mm</p> <p>Calculado: 16 mm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Separación máxima entre barras: <i>Artículo 59.8.2 de la norma EHE-98</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p> <p>- Armado superior dirección Y:</p>	<p>Máximo: 30 cm</p> <p>Calculado: 27 cm</p> <p>Calculado: 27 cm</p> <p>Calculado: 27 cm</p> <p>Calculado: 27 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p> <p>- Armado superior dirección Y:</p>	<p>Mínimo: 10 cm</p> <p>Calculado: 27 cm</p> <p>Calculado: 27 cm</p> <p>Calculado: 27 cm</p> <p>Calculado: 27 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INEMAC, 1991</i></p> <p>- Armado inf. dirección X hacia der:</p> <p>- Armado inf. dirección X hacia izq:</p> <p>- Armado inf. dirección Y hacia arriba:</p> <p>- Armado inf. dirección Y hacia abajo:</p> <p>- Armado sup. dirección X hacia der:</p> <p>- Armado sup. dirección X hacia izq:</p> <p>- Armado sup. dirección Y hacia arriba:</p> <p>- Armado sup. dirección Y hacia abajo:</p>	<p>Mínimo: 16 cm</p> <p>Calculado: 346 cm</p> <p>Mínimo: 16 cm</p> <p>Calculado: 301 cm</p> <p>Mínimo: 16 cm</p> <p>Calculado: 72 cm</p> <p>Mínimo: 16 cm</p> <p>Calculado: 72 cm</p> <p>Mínimo: 19 cm</p> <p>Calculado: 349 cm</p> <p>Mínimo: 19 cm</p> <p>Calculado: 327 cm</p> <p>Mínimo: 19 cm</p> <p>Calculado: 72 cm</p> <p>Mínimo: 19 cm</p> <p>Calculado: 72 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Longitud mínima de las patillas:</p> <p>- Armado inf. dirección X hacia der:</p> <p>- Armado inf. dirección X hacia izq:</p> <p>- Armado sup. dirección X hacia der:</p> <p>- Armado sup. dirección X hacia izq:</p>	<p>Mínimo: 16 cm</p> <p>Calculado: 16 cm</p> <p>Calculado: 16 cm</p> <p>Calculado: 19 cm</p> <p>Calculado: 19 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
Se cumplen todas las comprobaciones		

### 3.2 Zapata tipo B

Referencia: N13		
Dimensiones: 340 x 340 x 80		
Armados: Xi:Ø16c/27 Yi:Ø16c/27 Xs:Ø16c/27 Ys:Ø16c/27		
Comprobación	Valores	Estado
<p>Tensiones sobre el terreno:</p> <p><i>Criterio de CYPE Ingenieros</i></p> <p>- Tensión media en situaciones persistentes:</p> <p>- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:</p> <p>- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:</p>	<p>Máximo: 0.51 kp/cm<sup>2</sup> Calculado: 0.28 kp/cm<sup>2</sup></p> <p>Máximo: 0.637 kp/cm<sup>2</sup> Calculado: 0.295 kp/cm<sup>2</sup></p> <p>Máximo: 0.637 kp/cm<sup>2</sup> Calculado: 0.474 kp/cm<sup>2</sup></p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Vuelco de la zapata:</p> <p><i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i></p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Reserva seguridad: 5869.0 %</p> <p>Reserva seguridad: 36.6 %</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Flexión en la zapata:</p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Momento: 3.61 t·m</p> <p>Momento: 13.48 t·m</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Cortante en la zapata:</p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Cortante: 2.48 t</p> <p>Cortante: 10.21 t</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Compresión oblicua en la zapata:</p> <p>- Situaciones persistentes:</p> <p><i>Criterio de CYPE Ingenieros</i></p>	<p>Máximo: 611.62 t/m<sup>2</sup> Calculado: 7.37 t/m<sup>2</sup></p>	<p>Cumple</p>
<p>Canto mínimo:</p> <p><i>Artículo 59.8.1 de la norma EHE-98</i></p>	<p>Mínimo: 25 cm Calculado: 80 cm</p>	<p>Cumple</p>
<p>Espacio para anclar arranques en cimentación:</p> <p>- N13:</p>	<p>Mínimo: 60 cm Calculado: 72 cm</p>	<p>Cumple</p>
<p>Cuantía geométrica mínima:</p> <p><i>Criterio de CYPE Ingenieros</i></p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Mínimo: 0.0018</p> <p>Calculado: 0.0019</p> <p>Calculado: 0.0019</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Cuantía mínima necesaria por flexión:</p> <p><i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-98</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p> <p>- Armado superior dirección Y:</p>	<p>Calculado: 0.001</p> <p>Mínimo: 0.0001</p> <p>Mínimo: 0.0003</p> <p>Mínimo: 0.0001</p> <p>Mínimo: 0.0002</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Diámetro mínimo de las barras:</p> <p><i>Recomendación del Artículo 59.8.2 (norma EHE-98)</i></p> <p>- Parrilla inferior:</p>	<p>Mínimo: 12 mm Calculado: 16 mm</p>	<p>Cumple</p>

## TRABAJO FIN DE GRADO

Referencia: N13		
Dimensiones: 340 x 340 x 80		
Armados: Xi:Ø16c/27 Yi:Ø16c/27 Xs:Ø16c/27 Ys:Ø16c/27		
Comprobación	Valores	Estado
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 59.8.2 de la norma EHE-98</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Calculado: 79 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo rígido (Artículo 59.2 de la norma EHE-98)		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.06		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.19		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 66.67 t		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 66.67 t		

### 3.3 Zapata tipo C

Referencia: N32		
Dimensiones: 370 x 370 x 80		
Armados: Xi:Ø16c/27 Yi:Ø16c/27 Xs:Ø16c/27 Ys:Ø16c/27		
Comprobación	Valores	Estado
<p>Tensiones sobre el terreno:</p> <p><i>Criterio de CYPE Ingenieros</i></p> <p>- Tensión media en situaciones persistentes:</p> <p>- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:</p> <p>- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:</p>	<p>Máximo: 0.51 kp/cm<sup>2</sup> Calculado: 0.302 kp/cm<sup>2</sup></p> <p>Máximo: 0.637 kp/cm<sup>2</sup> Calculado: 0.222 kp/cm<sup>2</sup></p> <p>Máximo: 0.637 kp/cm<sup>2</sup> Calculado: 0.605 kp/cm<sup>2</sup></p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Vuelco de la zapata:</p> <p><i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i></p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Reserva seguridad: 21247.6 %</p> <p>Reserva seguridad: 10.1 %</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Flexión en la zapata:</p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Momento: 2.15 t·m</p> <p>Momento: 28.32 t·m</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Cortante en la zapata:</p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Cortante: 1.45 t</p> <p>Cortante: 21.38 t</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Compresión oblicua en la zapata:</p> <p>- Situaciones persistentes:</p> <p><i>Criterio de CYPE Ingenieros</i></p>	<p>Máximo: 611.62 t/m<sup>2</sup> Calculado: 3.25 t/m<sup>2</sup></p>	<p>Cumple</p>
<p>Canto mínimo:</p> <p><i>Artículo 59.8.1 de la norma EHE-98</i></p>	<p>Mínimo: 25 cm Calculado: 80 cm</p>	<p>Cumple</p>
<p>Espacio para anclar arranques en cimentación:</p> <p>- N32:</p>	<p>Mínimo: 65 cm Calculado: 72 cm</p>	<p>Cumple</p>
<p>Cuantía geométrica mínima:</p> <p><i>Criterio de CYPE Ingenieros</i></p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Mínimo: 0.0018</p> <p>Calculado: 0.0019</p> <p>Calculado: 0.0019</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Cuantía mínima necesaria por flexión:</p> <p><i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-98</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p> <p>- Armado superior dirección Y:</p>	<p>Calculado: 0.001</p> <p>Mínimo: 0.0001</p> <p>Mínimo: 0.0005</p> <p>Mínimo: 0.0001</p> <p>Mínimo: 0.0003</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Diámetro mínimo de las barras:</p> <p><i>Recomendación del Artículo 59.8.2 (norma EHE-98)</i></p> <p>- Parrilla inferior:</p>	<p>Mínimo: 12 mm Calculado: 16 mm</p>	<p>Cumple</p>

## TRABAJO FIN DE GRADO

Referencia: N32		
Dimensiones: 370 x 370 x 80		
Armados: Xi:Ø16c/27 Yi:Ø16c/27 Xs:Ø16c/27 Ys:Ø16c/27		
Comprobación	Valores	Estado
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 59.8.2 de la norma EHE-98</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 27 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 27 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm Calculado: 98 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm Calculado: 98 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm Calculado: 84 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 84 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm Calculado: 98 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm Calculado: 98 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm Calculado: 84 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm Calculado: 84 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

# **PLIEGO DE CONDICIONES**

# 1 Pliego de cláusulas administrativas

## 1.1 Disposiciones de carácter general

### 1.1.1 Objeto del Pliego de Condiciones

La finalidad de este Pliego es la de fijar los criterios de la relación que se establece entre los agentes que intervienen en las obras definidas en el presente proyecto y servir de base para la realización del contrato de obra entre el Promotor y el Contratista.

### 1.1.2 Contrato de obra

Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. A tal fin, el Director de Obra ofrece la documentación necesaria para la realización del contrato de obra.

### 1.1.3 Documentación del contrato de obra

Integran el contrato de obra los siguientes documentos, relacionados por orden de prelación atendiendo al valor de sus especificaciones, en el caso de posibles interpretaciones, omisiones o contradicciones:

- Las condiciones fijadas en el contrato de obra.
- El presente Pliego de Condiciones.
- La documentación gráfica y escrita del Proyecto: planos generales y de detalle, memorias, anejos, mediciones y presupuestos.

En el caso de interpretación, prevalecen las especificaciones literales sobre las gráficas y las cotas sobre las medidas a escala tomadas de los planos.

### 1.1.4 Proyecto Arquitectónico

El Proyecto Arquitectónico es el conjunto de documentos que definen y determinan las exigencias técnicas, funcionales y estéticas de las obras contempladas en el artículo 2 de la Ley de Ordenación de la Edificación. En él se justificará técnicamente las soluciones propuestas de acuerdo con las especificaciones requeridas por la normativa técnica aplicable.

Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos sobre tecnologías específicas o instalaciones del edificio, se mantendrá entre todos ellos la necesaria coordinación, sin que se produzca una duplicidad en la documentación ni en los honorarios a percibir por los autores de los distintos trabajos indicados.

Los documentos complementarios al Proyecto serán:

- Todos los planos o documentos de obra que, a lo largo de la misma, vaya suministrando la Dirección de Obra como interpretación, complemento o precisión.
- El Libro de Órdenes y Asistencias.
- El Programa de Control de Calidad de Edificación y su Libro de Control.
- El Estudio de Seguridad y Salud o Estudio Básico de Seguridad y Salud en las obras.
- El Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo, elaborado por cada Contratista.

- Estudio de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición.
- Licencias y otras autorizaciones administrativas.

### **1.1.5 Reglamentación urbanística**

La obra a construir se ajustará a todas las limitaciones del proyecto aprobado por los organismos competentes, especialmente las que se refieren al volumen, alturas, emplazamiento y ocupación del solar, así como a todas las condiciones de reforma del proyecto que pueda exigir la Administración para ajustarlo a las Ordenanzas, a las Normas y al Planeamiento Vigente.

### **1.1.6 Formalización del Contrato de Obra**

Los Contratos se formalizarán, en general, mediante documento privado, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes.

El cuerpo de estos documentos contendrá:

- La comunicación de la adjudicación.
- La copia del recibo de depósito de la fianza (en caso de que se haya exigido).
- La cláusula en la que se exprese, de forma categórica, que el Contratista se obliga al cumplimiento estricto del contrato de obra, conforme a lo previsto en este Pliego de Condiciones, junto con la Memoria y sus Anejos, el Estado de Mediciones, Presupuestos, Planos y todos los documentos que han de servir de base para la realización de las obras definidas en el presente Proyecto.

El Contratista, antes de la formalización del contrato de obra, dará también su conformidad con la firma al pie del Pliego de Condiciones, los Planos, Cuadro de Precios y Presupuesto General.

Serán a cuenta del adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne el Contratista.

### **1.1.7 Jurisdicción competente**

En el caso de no llegar a un acuerdo cuando surjan diferencias entre las partes, ambas quedan obligadas a someter la discusión de todas las cuestiones derivadas de su contrato a las Autoridades y Tribunales Administrativos con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese ubicada la obra.

### **1.1.8 Responsabilidad del Contratista**

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el Proyecto.

En consecuencia, quedará obligado a la demolición y reconstrucción de todas las unidades de obra con deficiencias o mal ejecutadas, sin que pueda servir de excusa el hecho de que la Dirección Facultativa haya examinado y reconocido la construcción durante sus visitas de obra, ni que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **1.1.9 Accidentes de trabajo**

Es de obligado cumplimiento el Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción y demás legislación vigente que, tanto directa como indirectamente, inciden sobre la planificación de la seguridad y salud en el trabajo de la construcción, conservación y mantenimiento de edificios.

Es responsabilidad del Coordinador de Seguridad y Salud, en virtud del Real Decreto 1627/97, el control y el seguimiento, durante toda la ejecución de la obra, del Plan de Seguridad y Salud redactado por el Contratista.

### **1.1.10 Daños y perjuicios a terceros**

El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las colindantes o contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiere lugar, y de todos los daños y perjuicios que puedan ocasionarse o causarse en las operaciones de la ejecución de las obras.

Asimismo, será responsable de los daños y perjuicios directos o indirectos que se puedan ocasionar frente a terceros como consecuencia de la obra, tanto en ella como en sus alrededores, incluso los que se produzcan por omisión o negligencia del personal a su cargo, así como los que se deriven de los subcontratistas e industriales que intervengan en la obra.

Es de su responsabilidad mantener vigente durante la ejecución de los trabajos una póliza de seguros frente a terceros, en la modalidad de "Todo riesgo al derribo y la construcción", suscrita por una compañía aseguradora con la suficiente solvencia para la cobertura de los trabajos contratados. Dicha póliza será aportada y ratificada por el Promotor o Propiedad, no pudiendo ser cancelada mientras no se firme el Acta de Recepción Provisional de la obra.

### **1.1.11 Anuncios y carteles**

Sin previa autorización del Promotor, no se podrán colocar en las obras ni en sus vallas más inscripciones o anuncios que los convenientes al régimen de los trabajos y los exigidos por la policía local.

### **1.1.12 Copia de documentos**

El Contratista, a su costa, tiene derecho a sacar copias de los documentos integrantes del Proyecto.

### **1.1.13 Suministro de materiales**

Se especificará en el Contrato la responsabilidad que pueda caber al Contratista por retraso en el plazo de terminación o en plazos parciales, como consecuencia de deficiencias o faltas en los suministros.

### **1.1.14 Hallazgos**

El Promotor se reserva la posesión de las antigüedades, objetos de arte o sustancias minerales utilizables que se encuentren en las excavaciones y demoliciones practicadas en sus terrenos o edificaciones. El Contratista deberá emplear, para extraerlos, todas las precauciones que se le indiquen por parte del Director de Obra.

El Promotor abonará al Contratista el exceso de obras o gastos especiales que estos trabajos ocasionen, siempre que estén debidamente justificados y aceptados por la Dirección Facultativa.

### **1.1.15 Causas de rescisión del contrato de obra**

Se considerarán causas suficientes de rescisión de contrato:

- a) La muerte o incapacitación del Contratista.
- b) La quiebra del Contratista.
- c) Las alteraciones del contrato por las causas siguientes:
  - a. La modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales del mismo a juicio del Director de Obra y, en cualquier caso, siempre que la variación del Presupuesto de Ejecución Material, como consecuencia de estas modificaciones, represente una desviación mayor del 20%.
  - b. Las modificaciones de unidades de obra, siempre que representen variaciones en más o en menos del 40% del proyecto original, o más de un 50% de unidades de obra del proyecto reformado.
- d) La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año y, en todo caso, siempre que por causas ajenas al Contratista no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación. En este caso, la devolución de la fianza será automática.
- e) Que el Contratista no comience los trabajos dentro del plazo señalado en el contrato.
- f) El incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- g) El vencimiento del plazo de ejecución de la obra.
- h) El abandono de la obra sin causas justificadas.
- i) La mala fe en la ejecución de la obra.

### **1.1.16 Omisiones: Buena fe**

Las relaciones entre el Promotor y el Contratista, reguladas por el presente Pliego de Condiciones y la documentación complementaria, presentan la prestación de un servicio al Promotor por parte del Contratista mediante la ejecución de una obra, basándose en la BUENA FE mutua de ambas partes, que pretenden beneficiarse de esta colaboración sin ningún tipo de perjuicio. Por este motivo, las relaciones entre ambas partes y las omisiones que puedan existir en este Pliego y la documentación complementaria del proyecto y de la obra, se entenderán siempre suplidas por la BUENA FE de las partes, que las subsanarán debidamente con el fin de conseguir una adecuada CALIDAD FINAL de la obra.

## **1.2 Disposiciones relativas a trabajos, materiales y medios auxiliares**

Se describen las disposiciones básicas a considerar en la ejecución de las obras, relativas a los trabajos, materiales y medios auxiliares, así como a las recepciones de los edificios objeto del presente proyecto y sus obras anejas.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **1.2.1 Accesos y vallados**

El Contratista dispondrá, por su cuenta, los accesos a la obra, el cerramiento o el vallado de ésta y su mantenimiento durante la ejecución de la obra, pudiendo exigir el Director de Ejecución de la Obra su modificación o mejora.

### **1.2.2 Replanteo**

El Contratista iniciará "in situ" el replanteo de las obras, señalando las referencias principales que mantendrá como base de posteriores replanteos parciales. Dichos trabajos se considerarán a cargo del Contratista e incluidos en su oferta económica.

Asimismo, someterá el replanteo a la aprobación del Director de Ejecución de la Obra y, una vez éste haya dado su conformidad, preparará el Acta de Inicio y Replanteo de la Obra acompañada de un plano de replanteo definitivo, que deberá ser aprobado por el Director de Obra. Será responsabilidad del Contratista la deficiencia o la omisión de este trámite.

### **1.2.3 Inicio de la obra y ritmo de ejecución de los trabajos**

El Contratista dará comienzo a las obras en el plazo especificado en el respectivo contrato, desarrollándose de manera adecuada para que dentro de los períodos parciales señalados se realicen los trabajos, de modo que la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo establecido en el contrato.

Será obligación del Contratista comunicar a la Dirección Facultativa el inicio de las obras, de forma fehaciente y preferiblemente por escrito, al menos con tres días de antelación.

El Director de Obra redactará el acta de comienzo de la obra y la suscribirán en la misma obra junto con él, el día de comienzo de los trabajos, el Director de la Ejecución de la Obra, el Promotor y el Contratista.

Para la formalización del acta de comienzo de la obra, el Director de la Obra comprobará que en la obra existe copia de los siguientes documentos:

- Proyecto de Ejecución, Anejos y modificaciones.
- Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo y su acta de aprobación por parte del Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de los trabajos.
- Licencia de Obra otorgada por el Ayuntamiento.
- Comunicación de apertura de centro de trabajo efectuada por el Contratista.
- Otras autorizaciones, permisos y licencias que sean preceptivas por otras administraciones.
- Libro de Órdenes y Asistencias.
- Libro de Incidencias.
- La fecha del acta de comienzo de la obra marca el inicio de los plazos parciales y total de la ejecución de la obra.

### **1.2.4 Orden de los trabajos**

La determinación del orden de los trabajos es, generalmente, facultad del Contratista, salvo en aquellos casos en que, por circunstancias de naturaleza técnica, se estime conveniente su variación por parte de la Dirección Facultativa.

**1.2.5 Facilidades para otros contratistas**

De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el Contratista dará todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que le sean encomendados a los Subcontratistas u otros Contratistas que intervengan en la ejecución de la obra. Todo ello sin perjuicio de las compensaciones económicas a que haya lugar por la utilización de los medios auxiliares o los suministros de energía u otros conceptos.

En caso de litigio, todos ellos se ajustarán a lo que resuelva la Dirección Facultativa.

**1.2.6 Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor**

Cuando se precise ampliar el Proyecto, por motivo imprevisto o por cualquier incidencia, no se interrumpirán los trabajos, continuándose según las instrucciones de la Dirección Facultativa en tanto se formula o se tramita el Proyecto Reformado.

El Contratista está obligado a realizar, con su personal y sus medios materiales, cuanto la Dirección de Ejecución de la Obra disponga para apeos, apuntalamientos, derribos, recalces o cualquier obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

**1.2.7 Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones del proyecto**

El Contratista podrá requerir del Director de Obra o del Director de Ejecución de la Obra, según sus respectivos cometidos y atribuciones, las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de la obra proyectada.

Cuando se trate de interpretar, aclarar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos, croquis, órdenes e instrucciones correspondientes, se comunicarán necesariamente por escrito al Contratista, estando éste a su vez obligado a devolver los originales o las copias, suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos e instrucciones que reciba tanto del Director de Ejecución de la Obra, como del Director de Obra.

Cualquier reclamación que crea oportuno hacer el Contratista en contra de las disposiciones tomadas por la Dirección Facultativa, habrá de dirigirla, dentro del plazo de tres días, a quien la hubiera dictado, el cual le dará el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

**1.2.8 Prórroga por causa de fuerza mayor**

Si, por causa de fuerza mayor o independientemente de la voluntad del Contratista, éste no pudiese comenzar las obras, tuviese que suspenderlas o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para su cumplimiento, previo informe favorable del Director de Obra.

Para ello, el Contratista expondrá, en escrito dirigido al Director de Obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **1.2.9 Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra**

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito, no se le hubiese proporcionado.

### **1.2.10 Trabajos defectuosos**

El Contratista debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en el proyecto, y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo estipulado.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, el Contratista es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que puedan existir por su mala ejecución, no siendo un eximente el que la Dirección Facultativa lo haya examinado o reconocido con anterioridad, ni tampoco el hecho de que estos trabajos hayan sido valorados en las Certificaciones Parciales de obra, que siempre se entenderán extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Director de Ejecución de la Obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos y equipos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos o una vez finalizados con anterioridad a la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean sustituidas o demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado a expensas del Contratista. Si ésta no estimase justa la decisión y se negase a la sustitución, demolición y reconstrucción ordenadas, se planteará la cuestión ante el Director de Obra, quien mediará para resolverla.

### **1.2.11 Vicios ocultos**

El Contratista es el único responsable de los vicios ocultos y de los defectos de la construcción, durante la ejecución de las obras y el periodo de garantía, hasta los plazos prescritos después de la terminación de las obras en la vigente L.O.E., aparte de otras responsabilidades legales o de cualquier índole que puedan derivarse.

Si el Director de Ejecución de la Obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará, cuando estime oportuno, realizar antes de la recepción definitiva los ensayos, destructivos o no, que considere necesarios para reconocer o diagnosticar los trabajos que suponga defectuosos, dando cuenta de la circunstancia al Director de Obra.

El Contratista demolerá, y reconstruirá posteriormente a su cargo, todas las unidades de obra mal ejecutadas, sus consecuencias, daños y perjuicios, no pudiendo eludir su responsabilidad por el hecho de que el Director de Obra y/o el Director del Ejecución de Obra lo hayan examinado o reconocido con anterioridad, o que haya sido conformada o abonada una parte o la totalidad de las obras mal ejecutadas.

### **1.2.12 Procedencia de materiales, aparatos y equipos**

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales, aparatos y equipos de todas clases donde considere oportuno y conveniente para sus intereses, excepto en aquellos casos en los se preceptúe una procedencia y características específicas en el proyecto.

Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo, acopio y puesta en obra, el Contratista deberá presentar al Director de Ejecución de la Obra una lista completa de los materiales, aparatos y equipos que vaya a

utilizar, en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre sus características técnicas, marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

**1.2.13 Presentación de muestras**

A petición del Director de Obra, el Contratista presentará las muestras de los materiales, aparatos y equipos, siempre con la antelación prevista en el calendario de obra.

**1.2.14 Materiales, aparatos y equipos defectuosos**

Cuando los materiales, aparatos, equipos y elementos de instalaciones no fuesen de la calidad y características técnicas prescritas en el proyecto, no tuvieran la preparación en él exigida o cuando, a falta de prescripciones formales, se reconociera o demostrara que no son los adecuados para su fin, el Director de Obra, a instancias del Director de Ejecución de la Obra, dará la orden al Contratista de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o sean los adecuados al fin al que se destinen.

Si, a los 15 días de recibir el Contratista orden de que retire los materiales que no estén en condiciones, ésta no ha sido cumplida, podrá hacerlo el Promotor o Propiedad a cuenta de Contratista.

En el caso de que los materiales, aparatos, equipos o elementos de instalaciones fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del Director de Obra, se recibirán con la rebaja del precio que aquél determine, a no ser que el Contratista prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

**1.2.15 Gastos ocasionados por pruebas y ensayos**

Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras correrán a cargo y cuenta del Contratista.

Todo ensayo que no resulte satisfactorio, no se realice por omisión del Contratista, o que no ofrezca las suficientes garantías, podrá comenzarse nuevamente o realizarse nuevos ensayos o pruebas especificadas en el proyecto, a cargo y cuenta del Contratista y con la penalización correspondiente, así como todas las obras complementarias a que pudieran dar lugar cualquiera de los supuestos anteriormente citados y que el Director de Obra considere necesarios.

**1.2.16 Limpieza de las obras**

Es obligación del Contratista mantener limpias las obras y sus alrededores tanto de escombros como de materiales sobrantes, retirar las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como ejecutar todos los trabajos y adoptar las medidas que sean apropiadas para que la obra presente buen aspecto.

**1.2.17 Obras sin prescripciones explícitas**

En la ejecución de trabajos que pertenecen a la construcción de las obras, y para los cuales no existan prescripciones consignadas explícitamente en este Pliego ni en la restante documentación del proyecto, el Contratista se atendrá, en primer término, a las instrucciones que dicte la Dirección Facultativa de las obras y, en segundo lugar, a las normas y prácticas de la buena construcción.

## 2 Disposiciones facultativas

### 2.1 Definición, atribuciones y obligaciones de los agentes de la edificación

Las atribuciones de los distintos agentes intervinientes en la edificación son las reguladas por la Ley 38/99 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.).

Se definen agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas, que intervienen en el proceso de la edificación. Sus obligaciones quedan determinadas por lo dispuesto en la L.O.E. y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención.

Las definiciones y funciones de los agentes que intervienen en la edificación quedan recogidas en el capítulo III "Agentes de la edificación", considerándose:

#### 2.1.1 El Promotor

Es la 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.

Asume la iniciativa de todo el proceso de la edificación, impulsando la gestión necesaria para llevar a cabo la obra inicialmente proyectada, y se hace cargo de todos los costes necesarios.

Según la legislación vigente, a la figura del promotor se equiparan también las de gestor de sociedades cooperativas, comunidades de propietarios, u otras análogas que asumen la gestión económica de la edificación.

Cuando las Administraciones públicas y los organismos sujetos a la legislación de contratos de las Administraciones públicas actúen como promotores, se regirán por la legislación de contratos de las Administraciones públicas y, en lo no contemplado en la misma, por las disposiciones de la L.O.E.

#### 2.1.2 El Projectista

Es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística 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 según lo previsto en el apartado 2 del artículo 4 de la L.O.E., cada projectista asumirá la titularidad de su proyecto.

#### 2.1.3 El Constructor o Contratista

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 de obra.

CABE EFECTUAR ESPECIAL MENCIÓN DE QUE LA LEY SEÑALA COMO RESPONSABLE EXPLÍCITO DE LOS VICIOS O DEFECTOS CONSTRUCTIVOS AL CONTRATISTA GENERAL DE LA OBRA, SIN PERJUICIO DEL DERECHO DE REPETICIÓN DE ÉSTE HACIA LOS SUBCONTRATISTAS.

#### **2.1.4 El Director de Obra**

Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, 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.

Podrán dirigir las obras de los proyectos parciales otros técnicos, bajo la coordinación del Director de Obra.

#### **2.1.5 El Director de la Ejecución de la Obra**

Es el agente que, formando parte de la Dirección Facultativa, asume la función técnica de dirigir la Ejecución Material de la Obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y calidad de lo edificado. Para ello es requisito indispensable el estudio y análisis previo del proyecto de ejecución una vez redactado por el Arquitecto, procediendo a solicitarle, con antelación al inicio de las obras, todas aquellas aclaraciones, subsanaciones o documentos complementarios que, dentro de su competencia y atribuciones legales, estimare necesarios para poder dirigir de manera solvente la ejecución de las mismas.

#### **2.1.6 Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación**

Son entidades de control de calidad de la edificación aquéllas capacitadas para prestar asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable.

Son laboratorios de ensayos para el control de calidad de la edificación los capacitados para prestar asistencia técnica, mediante la realización de ensayos o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de una obra de edificación.

#### **2.1.7 Los suministradores de productos**

Se consideran suministradores de productos los fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción.

Se entiende por producto de construcción aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra, incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.

### **2.2 La dirección facultativa**

En correspondencia con la L.O.E., la Dirección Facultativa está compuesta por la Dirección de Obra y la Dirección de Ejecución de la Obra. A la Dirección Facultativa se integrará el Coordinador en materia de Seguridad y Salud en fase de ejecución de la obra, en el caso de que se haya adjudicado dicha misión a facultativo distinto de los anteriores.

Representa técnicamente los intereses del promotor durante la ejecución de la obra, dirigiendo el proceso de construcción en función de las atribuciones profesionales de cada técnico participante.

### **2.3 Obligaciones de los agentes intervinientes**

Las obligaciones de los agentes que intervienen en la edificación son las contenidas en los artículos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16, del capítulo III de la L.O.E. y demás legislación aplicable.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **2.3.1 El Promotor**

Ostentar sobre el solar la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él.

Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al Director de Obra, al Director de la Ejecución de la Obra y al Contratista posteriores modificaciones del mismo que fueran imprescindibles para llevar a buen fin lo proyectado.

Elegir y contratar a los distintos agentes, con la titulación y capacitación profesional necesaria, que garanticen el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para realizar en su globalidad y llevar a buen fin el objeto de lo promovido, en los plazos estipulados y en las condiciones de calidad exigibles mediante el cumplimiento de los requisitos básicos estipulados para los edificios.

Gestionar y hacerse cargo de las preceptivas licencias y demás autorizaciones administrativas procedentes que, de conformidad con la normativa aplicable, conlleva la construcción de edificios, la urbanización que procediera en su entorno inmediato, la realización de obras que en ellos se ejecuten y su ocupación.

Garantizar los daños materiales que el edificio pueda sufrir, para la adecuada protección de los intereses de los usuarios finales, en las condiciones legalmente establecidas, asumiendo la responsabilidad civil de forma personal e individualizada, tanto por actos propios como por actos de otros agentes por los que, con arreglo a la legislación vigente, se deba responder.

La suscripción obligatoria de un seguro, de acuerdo a las normas concretas fijadas al efecto, que cubra los daños materiales que ocasionen en el edificio el incumplimiento de las condiciones de habitabilidad en tres años o que afecten a la seguridad estructural en el plazo de diez años, con especial mención a las viviendas individuales en régimen de autopromoción, que se registrarán por lo especialmente legislado al efecto.

Contratar a los técnicos redactores del preceptivo Estudio de Seguridad y Salud o Estudio Básico, en su caso, al igual que a los técnicos coordinadores en la materia en la fase que corresponda, todo ello según lo establecido en el R.D. 1627/97, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas en materia de seguridad y salud en las obras de construcción.

Suscribir el acta de recepción final de las obras, una vez concluidas éstas, haciendo constar la aceptación de las obras, que podrá efectuarse con o sin reservas y que deberá abarcar la totalidad de las obras o fases completas. En el caso de hacer mención expresa a reservas para la recepción, deberán mencionarse de manera detallada las deficiencias y se deberá hacer constar el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados.

Entregar al adquirente y usuario inicial, en su caso, el denominado Libro del Edificio que contiene el manual de uso y mantenimiento del mismo y demás documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las Administraciones competentes.

### **2.3.2 El Projectista**

Redactar el proyecto por encargo del Promotor, con sujeción a la normativa urbanística y técnica en vigor y conteniendo la documentación necesaria para tramitar tanto la licencia de obras y demás permisos administrativos -proyecto básico- como para ser interpretada y poder ejecutar totalmente la obra, entregando al Promotor las copias autorizadas correspondientes, debidamente visadas por su colegio profesional.

Definir el concepto global del proyecto de ejecución con el nivel de detalle gráfico y escrito suficiente y calcular los elementos fundamentales del edificio, en especial la cimentación y la estructura. Concretar en el Proyecto el emplazamiento de cuartos de máquinas, de contadores, hornacinas, espacios asignados para subida de conductos, reservas de huecos de ventilación, alojamiento de sistemas de telecomunicación y, en general, de aquellos elementos necesarios en el edificio para facilitar las determinaciones concretas y especificaciones detalladas que son cometido de los proyectos parciales, debiendo éstos adaptarse al Proyecto de Ejecución, no pudiendo contravenirlo en modo alguno. Deberá entregarse necesariamente un

ejemplar del proyecto complementario al Arquitecto antes del inicio de las obras o instalaciones correspondientes.

Acordar con el Promotor la contratación de colaboraciones parciales de otros técnicos profesionales.

Facilitar la colaboración necesaria para que se produzca la adecuada coordinación con los proyectos parciales exigibles por la legislación o la normativa vigente y que sea necesario incluir para el desarrollo adecuado del proceso edificatorio, que deberán ser redactados por técnicos competentes, bajo su responsabilidad y suscritos por persona física. Los proyectos parciales serán aquellos redactados por otros técnicos cuya competencia puede ser distinta e incompatible con las competencias del Arquitecto y, por tanto, de exclusiva responsabilidad de éstos.

Elaborar aquellos proyectos parciales o estudios complementarios exigidos por la legislación vigente en los que es legalmente competente para su redacción, excepto declinación expresa del Arquitecto y previo acuerdo con el Promotor, pudiendo exigir la compensación económica en concepto de cesión de derechos de autor y de la propiedad intelectual si se tuviera que entregar a otros técnicos, igualmente competentes para realizar el trabajo, documentos o planos del proyecto por él redactado, en soporte papel o informático.

Ostentar la propiedad intelectual de su trabajo, tanto de la documentación escrita como de los cálculos de cualquier tipo, así como de los planos contenidos en la totalidad del proyecto y cualquiera de sus documentos complementarios.

### **2.3.3 El Constructor o Contratista**

Tener la capacitación profesional o titulación que habilita para el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para actuar como constructor.

Organizar los trabajos de construcción para cumplir con los plazos previstos, de acuerdo al correspondiente Plan de Obra, efectuando las instalaciones provisionales y disponiendo de los medios auxiliares necesarios.

Elaborar, y exigir de cada subcontratista, un plan de seguridad y salud en el trabajo en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en el estudio o estudio básico, en función de su propio sistema de ejecución de la obra. En dichos planes se incluirán, en su caso, las propuestas de medidas alternativas de prevención propuestas, con la correspondiente justificación técnica, que no podrán implicar disminución de los niveles de protección previstos en el estudio o estudio básico.

Comunicar a la autoridad laboral competente la apertura del centro de trabajo en la que incluirá el Plan de Seguridad y Salud al que se refiere el artículo 7 del RD 1627/97 de 24 de octubre.

Adoptar todas las medidas preventivas que cumplan los preceptos en materia de Prevención de Riesgos laborales y Seguridad y Salud que establece la legislación vigente, redactando el correspondiente Plan de Seguridad y ajustándose al cumplimiento estricto y permanente de lo establecido en el Estudio de Seguridad y Salud, disponiendo de todos los medios necesarios y dotando al personal del equipamiento de seguridad exigibles, así como cumplir las órdenes efectuadas por el Coordinador en materia de Seguridad y Salud en la fase de Ejecución de la obra.

Supervisar de manera continuada el cumplimiento de las normas de seguridad, tutelando las actividades de los trabajadores a su cargo y, en su caso, relevando de su puesto a todos aquellos que pudieran menoscabar las condiciones básicas de seguridad personales o generales, por no estar en las condiciones adecuadas.

Examinar la documentación aportada por los técnicos redactores correspondientes, tanto del Proyecto de Ejecución como de los proyectos complementarios, así como del Estudio de Seguridad y Salud, verificando que le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada o, en caso contrario, solicitando las aclaraciones pertinentes.

Facilitar la labor de la Dirección Facultativa, suscribiendo el Acta de Replanteo, ejecutando las obras con sujeción al Proyecto de Ejecución que deberá haber examinado previamente, a la legislación aplicable, a las

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

Instrucciones del Arquitecto Director de Obra y del Director de la Ejecución Material de la Obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto.

Efectuar las obras siguiendo los criterios al uso que son propios de la correcta construcción, que tiene la obligación de conocer y poner en práctica, así como de las leyes generales de los materiales o *lex artis*, aún cuando éstos criterios no estuvieran específicamente reseñados en su totalidad en la documentación de proyecto. A tal efecto, ostenta la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordina las tareas de los subcontratistas.

Disponer de los medios materiales y humanos que la naturaleza y entidad de la obra impongan, disponiendo del número adecuado de oficiales, suboficiales y peones que la obra requiera en cada momento, bien por personal propio o mediante subcontratistas al efecto, procediendo a solapar aquellos oficios en la obra que sean compatibles entre sí y que permitan acometer distintos trabajos a la vez sin provocar interferencias, contribuyendo con ello a la agilización y finalización de la obra dentro de los plazos previstos.

Ordenar y disponer en cada momento de personal suficiente a su cargo para que efectúe las actuaciones pertinentes para ejecutar las obras con solvencia, diligentemente y sin interrupción, programándolas de manera coordinada con el Arquitecto Técnico o Aparejador, Director de Ejecución Material de la Obra.

Supervisar personalmente y de manera continuada y completa la marcha de las obras, que deberán transcurrir sin dilación y con adecuado orden y concierto, así como responder directamente de los trabajos efectuados por sus trabajadores subordinados, exigiéndoles el continuo autocontrol de los trabajos que efectúen, y ordenando la modificación de todas aquellas tareas que se presenten mal efectuadas.

Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales utilizados y elementos constructivos, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción facultativa del Director de la Ejecución de la obra, los suministros de material o prefabricados que no cuenten con las garantías, documentación mínima exigible o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación, debiendo recabar de la Dirección Facultativa la información que necesite para cumplir adecuadamente su cometido.

Dotar de material, maquinaria y utillajes adecuados a los operarios que intervengan en la obra, para efectuar adecuadamente las instalaciones necesarias y no menoscabar con la puesta en obra las características y naturaleza de los elementos constructivos que componen el edificio una vez finalizado.

Poner a disposición del Arquitecto Técnico o Aparejador los medios auxiliares y personal necesario para efectuar las pruebas pertinentes para el Control de Calidad, recabando de dicho técnico el plan a seguir en cuanto a las tomas de muestras, traslados, ensayos y demás actuaciones necesarias.

Cuidar de que el personal de la obra guarde el debido respeto a la Dirección Facultativa.

Auxiliar al Director de la Ejecución de la Obra en los actos de replanteo y firmar posteriormente y una vez finalizado éste, el acta correspondiente de inicio de obra, así como la de recepción final.

Facilitar a los Arquitectos Directores de Obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación final de obra ejecutada.

Suscribir las garantías de obra que se señalan en el Artículo 19 de la Ley de Ordenación de la Edificación y que, en función de su naturaleza, alcanzan períodos de 1 año (daños por defectos de terminación o acabado de las obras), 3 años (daños por defectos o vicios de elementos constructivos o de instalaciones que afecten a la habitabilidad) o 10 años (daños en cimentación o estructura que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio).

### **2.3.4 El Director de Obra**

Dirigir la obra coordinándola con el Proyecto de Ejecución, facilitando su interpretación técnica, económica y estética a los agentes intervinientes en el proceso constructivo.

Detener la obra por causa grave y justificada, que se deberá hacer constar necesariamente en el Libro de Ordenes y Asistencias, dando cuenta inmediata al Promotor.

Redactar las modificaciones, ajustes, rectificaciones o planos complementarios que se precisen para el adecuado desarrollo de las obras. Es facultad expresa y única la redacción de aquellas modificaciones o aclaraciones directamente relacionadas con la adecuación de la cimentación y de la estructura proyectadas a las características geotécnicas del terreno; el cálculo o recálculo del dimensionado y armado de todos y cada uno de los elementos principales y complementarios de la cimentación y de la estructura vertical y horizontal; los que afecten sustancialmente a la distribución de espacios y las soluciones de fachada y cubierta y dimensionado y composición de huecos, así como la modificación de los materiales previstos.

Asesorar al Director de la Ejecución de la Obra en aquellas aclaraciones y dudas que pudieran acontecer para el correcto desarrollo de la misma, en lo que respecta a las interpretaciones de las especificaciones de proyecto.

Asistir a las obras a fin de resolver las contingencias que se produzcan para asegurar la correcta interpretación y ejecución del proyecto, así como impartir las soluciones aclaratorias que fueran necesarias, consignando en el Libro de Ordenes y Asistencias las instrucciones precisas que se estimara oportunas reseñar para la correcta interpretación de lo proyectado, sin perjuicio de efectuar todas las aclaraciones y órdenes verbales que estimare oportuno.

Firmar el Acta de replanteo o de comienzo de obra y el Certificado Final de Obra, así como firmar el visto bueno de las certificaciones parciales referidas al porcentaje de obra efectuada y, en su caso y a instancias del Promotor, la supervisión de la documentación que se le presente relativa a las unidades de obra realmente ejecutadas previa a su liquidación final, todo ello con los visados que en su caso fueran preceptivos.

Informar puntualmente al Promotor de aquellas modificaciones sustanciales que, por razones técnicas o normativas, conlleven una variación de lo construido con respecto al proyecto básico y de ejecución y que afecten o puedan afectar al contrato suscrito entre el promotor y los destinatarios finales de las viviendas.

Redactar la documentación final de obra, en lo que respecta a la documentación gráfica y escrita del proyecto ejecutado, incorporando las modificaciones efectuadas. Para ello, los técnicos redactores de proyectos y/o estudios complementarios deberán obligatoriamente entregarle la documentación final en la que se haga constar el estado final de las obras y/o instalaciones por ellos redactadas, supervisadas y realmente ejecutadas, siendo responsabilidad de los firmantes la veracidad y exactitud de los documentos presentados.

Al Proyecto Final de Obra se anexará el Acta de Recepción Final; la relación identificativa de los agentes que han intervenido en el proceso de edificación, incluidos todos los subcontratistas y oficios intervinientes; las instrucciones de Uso y Mantenimiento del Edificio y de sus instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación.

La documentación a la que se hace referencia en los dos apartados anteriores es parte constituyente del Libro del Edificio y el Promotor deberá entregar una copia completa a los usuarios finales del mismo que, en el caso de edificios de viviendas plurifamiliares, se materializa en un ejemplar que deberá ser custodiado por el Presidente de la Comunidad de Propietarios o por el Administrador, siendo éstos los responsables de divulgar al resto de propietarios su contenido y de hacer cumplir los requisitos de mantenimiento que constan en la citada documentación.

Además de todas las facultades que corresponden al Arquitecto Director de Obra, expresadas en los artículos precedentes, es misión específica suya la dirección mediata, denominada alta dirección en lo que al cumplimiento de las directrices generales del proyecto se refiere, y a la adecuación de lo construido a éste.

Cabe señalar expresamente que la resistencia al cumplimiento de las órdenes de los Arquitectos Directores de Obra en su labor de alta dirección se considerará como falta grave y, en caso de que, a su juicio, el incumplimiento de lo ordenado pusiera en peligro la obra o las personas que en ella trabajan, podrá recusar

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

al Contratista y/o acudir a las autoridades judiciales, siendo responsable el Contratista de las consecuencias legales y económicas.

### **2.3.5 El Director de la Ejecución de la Obra**

Corresponde al Arquitecto Técnico o Aparejador, según se establece en el Artículo 13 de la LOE y demás legislación vigente al efecto, las atribuciones competenciales y obligaciones que se señalan a continuación:

La Dirección inmediata de la Obra.

Verificar personalmente la recepción a pie de obra, previo a su acopio o colocación definitiva, de todos los productos y materiales suministrados necesarios para la ejecución de la obra, comprobando que se ajustan con precisión a las determinaciones del proyecto y a las normas exigibles de calidad, con la plena potestad de aceptación o rechazo de los mismos en caso de que lo considerase oportuno y por causa justificada, ordenando la realización de pruebas y ensayos que fueran necesarios.

Dirigir la ejecución material de la obra de acuerdo con las especificaciones de la memoria y de los planos del Proyecto, así como, en su caso, con las instrucciones complementarias necesarias que recabara del Director de Obra.

Anticiparse con la antelación suficiente a las distintas fases de la puesta en obra, requiriendo las aclaraciones al Arquitecto o Arquitectos Directores de Obra que fueran necesarias y planificando de manera anticipada y continuada con el Contratista principal y los subcontratistas los trabajos a efectuar.

Comprobar los replanteos, los materiales, hormigones y demás productos suministrados, exigiendo la presentación de los oportunos certificados de idoneidad de los mismos.

Verificar la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, extendiéndose dicho cometido a todos los elementos de cimentación y estructura horizontal y vertical, con comprobación de sus especificaciones concretas de dimensionado de elementos, tipos de viguetas y adecuación a ficha técnica homologada, diámetros nominales, longitudes de anclaje y adecuados solape y doblado de barras.

Observancia de los tiempos de encofrado y desencofrado de vigas, pilares y forjados señalados por la Instrucción del Hormigón vigente y de aplicación.

Comprobación del correcto dimensionado de rampas y escaleras y de su adecuado trazado y replanteo con acuerdo a las pendientes, desniveles proyectados y al cumplimiento de todas las normativas que son de aplicación; a dimensiones parciales y totales de elementos, a su forma y geometría específica, así como a las distancias que deben guardarse entre ellos, tanto en horizontal como en vertical.

Verificación de la adecuada puesta en obra de fábricas y cerramientos, a su correcta y completa trabazón y, en general, a lo que atañe a la ejecución material de la totalidad de la obra y sin excepción alguna, de acuerdo a los criterios y leyes de los materiales y de la correcta construcción (lex artis) y a las normativas de aplicación.

Asistir a la obra con la frecuencia, dedicación y diligencia necesarias para cumplir eficazmente la debida supervisión de la ejecución de la misma en todas sus fases, desde el replanteo inicial hasta la total finalización del edificio, dando las órdenes precisas de ejecución al Contratista y, en su caso, a los subcontratistas.

Consignar en el Libro de Ordenes y Asistencias las instrucciones precisas que considerara oportuno reseñar para la correcta ejecución material de las obras.

Supervisar posteriormente el correcto cumplimiento de las órdenes previamente efectuadas y la adecuación de lo realmente ejecutado a lo ordenado previamente.

Verificar el adecuado trazado de instalaciones, conductos, acometidas, redes de evacuación y su dimensionado, comprobando su idoneidad y ajuste tanto a las especificaciones del proyecto de ejecución

como de los proyectos parciales, coordinando dichas actuaciones con los técnicos redactores correspondientes.

Detener la Obra si, a su juicio, existiera causa grave y justificada, que se deberá hacer constar necesariamente en el Libro de Ordenes y Asistencias, dando cuenta inmediata a los Arquitectos Directores de Obra que deberán necesariamente corroborarla para su plena efectividad, y al Promotor.

Supervisar las pruebas pertinentes para el Control de Calidad, respecto a lo especificado por la normativa vigente, en cuyo cometido y obligaciones tiene legalmente competencia exclusiva, programando bajo su responsabilidad y debidamente coordinado y auxiliado por el Contratista, las tomas de muestras, traslados, ensayos y demás actuaciones necesarias de elementos estructurales, así como las pruebas de estanqueidad de fachadas y de sus elementos, de cubiertas y sus impermeabilizaciones, comprobando la eficacia de las soluciones.

Informar con prontitud a los Arquitectos Directores de Obra de los resultados de los Ensayos de Control conforme se vaya teniendo conocimiento de los mismos, proponiéndole la realización de pruebas complementarias en caso de resultados adversos.

Tras la oportuna comprobación, emitir las certificaciones parciales o totales relativas a las unidades de obra realmente ejecutadas, con los visados que en su caso fueran preceptivos.

Colaborar activa y positivamente con los restantes agentes intervinientes, sirviendo de nexo de unión entre éstos, el Contratista, los Subcontratistas y el personal de la obra.

Elaborar y suscribir responsablemente la documentación final de obra relativa a los resultados del Control de Calidad y, en concreto, a aquellos ensayos y verificaciones de ejecución de obra realizados bajo su supervisión relativos a los elementos de la cimentación, muros y estructura, a las pruebas de estanqueidad y escorrentía de cubiertas y de fachadas, a las verificaciones del funcionamiento de las instalaciones de saneamiento y desagües de pluviales y demás aspectos señalados en la normativa de Control de Calidad.

Suscribir conjuntamente el Certificado Final de Obra, acreditando con ello su conformidad a la correcta ejecución de las obras y a la comprobación y verificación positiva de los ensayos y pruebas realizadas.

Si se hiciera caso omiso de las órdenes efectuadas por el Arquitecto Técnico, Director de la Ejecución de las Obras, se considerara como falta grave y, en caso de que, a su juicio, el incumplimiento de lo ordenado pusiera en peligro la obra o las personas que en ella trabajan, podrá acudir a las autoridades judiciales, siendo responsable el Contratista de las consecuencias legales y económicas.

### **2.3.6 Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación**

Prestar asistencia técnica y entregar los resultados de su actividad al agente autor del encargo y, en todo caso, al director de la ejecución de las obras.

Justificar la capacidad suficiente de medios materiales y humanos necesarios para realizar adecuadamente los trabajos contratados, en su caso, a través de la correspondiente acreditación oficial otorgada por las Comunidades Autónomas con competencia en la materia.

### **2.3.7 Los suministradores de productos**

Realizar las entregas de los productos de acuerdo con las especificaciones del pedido, respondiendo de su origen, identidad y calidad, así como del cumplimiento de las exigencias que, en su caso, establezca la normativa técnica aplicable.

Facilitar, cuando proceda, las instrucciones de uso y mantenimiento de los productos suministrados, así como las garantías de calidad correspondientes, para su inclusión en la documentación de la obra ejecutada.

### 2.3.8 Los propietarios y los usuarios

Son obligaciones de los propietarios conservar en buen estado la edificación mediante un adecuado uso y mantenimiento, así como recibir, conservar y transmitir la documentación de la obra ejecutada y los seguros y garantías con que ésta cuente.

Son obligaciones de los usuarios sean o no propietarios, la utilización adecuada de los edificios o de parte de los mismos de conformidad con las instrucciones de uso y mantenimiento contenidas en la documentación de la obra ejecutada.

## 3 Disposiciones económicas sobre los precios

El objetivo principal de la elaboración del presupuesto es anticipar el coste del proceso de construir la obra. Descompondremos el presupuesto en unidades de obra, componente menor que se contrata y certifica por separado, y basándonos en esos precios, calcularemos el presupuesto.

### 3.1 Precio básico

Es el precio por unidad (ud, m, kg, etc.) de un material dispuesto a pie de obra, (incluido su transporte a obra, descarga en obra, embalajes, etc.) o el precio por hora de la maquinaria y de la mano de obra.

### 3.2 Precio unitario

Es el precio de una unidad de obra que obtendremos como suma de los siguientes costes:

- Costes directos: calculados como suma de los productos "precio básico x cantidad" de la mano de obra, maquinaria y materiales que intervienen en la ejecución de la unidad de obra.
- Medios auxiliares: Costes directos complementarios, calculados en forma porcentual como porcentaje de otros componentes, debido a que representan los costes directos que intervienen en la ejecución de la unidad de obra y que son de difícil cuantificación. Son diferentes para cada unidad de obra.
- Costes indirectos: aplicados como un porcentaje de la suma de los costes directos y medios auxiliares, igual para cada unidad de obra debido a que representan los costes de los factores necesarios para la ejecución de la obra que no se corresponden a ninguna unidad de obra en concreto.

En relación a la composición de los precios, el vigente Reglamento general de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas (Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre) establece que la composición y el cálculo de los precios de las distintas unidades de obra se base en la determinación de los costes directos e indirectos precisos para su ejecución, sin incorporar, en ningún caso, el importe del Impuesto sobre el Valor Añadido que pueda gravar las entregas de bienes o prestaciones de servicios realizados.

Considera costes directos:

- La mano de obra que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra.
- Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que quedan integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.
- Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria e instalaciones anteriormente citadas.

Deben incluirse como costes indirectos:

Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorio, etc., los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos. Todos estos gastos, excepto aquéllos que se reflejen en el presupuesto valorados en unidades de obra o en partidas alzadas, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos, igual para todas las unidades de obra, que adoptará, en cada caso, el autor del proyecto a la vista de

la naturaleza de la obra proyectada, de la importancia de su presupuesto y de su previsible plazo de ejecución.

Las características técnicas de cada unidad de obra, en las que se incluyen todas las especificaciones necesarias para su correcta ejecución, se encuentran en el apartado de 'Prescripciones en cuanto a la Ejecución por Unidad de Obra', junto a la descripción del proceso de ejecución de la unidad de obra.

Si en la descripción del proceso de ejecución de la unidad de obra no figurase alguna operación necesaria para su correcta ejecución, se entiende que está incluida en el precio de la unidad de obra, por lo que no supondrá cargo adicional o aumento de precio de la unidad de obra contratada.

Para mayor aclaración, se exponen algunas operaciones o trabajos, que se entiende que siempre forman parte del proceso de ejecución de las unidades de obra:

- El transporte y movimiento vertical y horizontal de los materiales en obra, incluso carga y descarga de los camiones.
- Eliminación de restos, limpieza final y retirada de residuos a vertedero de obra.
- Transporte de escombros sobrantes a vertedero autorizado.
- Montaje, comprobación y puesta a punto.
- Las correspondientes legalizaciones y permisos en instalaciones.
- Maquinaria, andamiajes y medios auxiliares necesarios.

Trabajos que se considerarán siempre incluidos y para no ser reiterativos no se especifican en cada una de las unidades de obra.

### **3.3 Presupuesto de Ejecución Material (PEM)**

Es el resultado de la suma de los precios unitarios de las diferentes unidades de obra que la componen.

Se denomina Presupuesto de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los productos del número de cada unidad de obra por su precio unitario y de las partidas alzadas. Es decir, el coste de la obra sin incluir los gastos generales, el beneficio industrial y el impuesto sobre el valor añadido.

### **3.4 Precios contradictorios**

Sólo se producirán precios contradictorios cuando el Promotor, por medio del Director de Obra, decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El Contratista siempre estará obligado a efectuar los cambios indicados.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el Director de Obra y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el contrato de obra o, en su defecto, antes de quince días hábiles desde que se le comunique fehacientemente al Director de Obra. Si subsiste la diferencia, se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto y, en segundo lugar, al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiese se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato de obra. Nunca se tomará para la valoración de los correspondientes precios contradictorios la fecha de la ejecución de la unidad de obra en cuestión.

### **3.5 Reclamación de aumento de precios**

Si el Contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

### **3.6 Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios**

En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres locales respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas. Se estará a lo previsto en el Presupuesto y en el criterio de medición en obra recogido en el Pliego.

### **3.7 De la revisión de los precios contratados**

El presupuesto presentado por el Contratista se entiende que es cerrado, por lo que no se aplicará revisión de precios.

Sólo se procederá a efectuar revisión de precios cuando haya quedado explícitamente determinado en el contrato de obra entre el Promotor y el Contratista.

### **3.8 Acopio de materiales**

El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que el Promotor ordene por escrito.

Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario, son de la exclusiva propiedad de éste, siendo el Contratista responsable de su guarda y conservación.

## **4 Pliego de condiciones técnicas particulares**

### **4.1 Prescripciones sobre los materiales**

Para facilitar la labor a realizar, por parte del Director de la Ejecución de la Obra, para el control de recepción en obra de los productos, equipos y sistemas que se suministren a la obra de acuerdo con lo especificado en el artículo 7.2. del CTE, en el presente proyecto se especifican las características técnicas que deberán cumplir los productos, equipos y sistemas suministrados.

Los productos, equipos y sistemas suministrados deberán cumplir las condiciones que sobre ellos se especifican en los distintos documentos que componen el Proyecto. Asimismo, sus calidades serán acordes con las distintas normas que sobre ellos estén publicadas y que tendrán un carácter de complementariedad a este apartado del Pliego. Tendrán preferencia en cuanto a su aceptabilidad aquellos materiales que estén en posesión de Documento de Idoneidad Técnica que avale sus calidades, emitido por Organismos Técnicos reconocidos.

Este control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas comprenderá según el artículo 7.2. del CTE:

- El control de la documentación de los suministros, realizado de acuerdo con el artículo 7.2.1.
- El control mediante distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad, según el artículo 7.2.2.
- El control mediante ensayos, conforme al artículo 7.2.3.

Por parte del Constructor o Contratista debe existir obligación de comunicar a los suministradores de productos las calidades que se exigen para los distintos materiales, aconsejándose que previamente al empleo de los mismos se solicite la aprobación del Director de Ejecución de la Obra y de las entidades y laboratorios encargados del control de calidad de la obra.

El Contratista será responsable de que los materiales empleados cumplan con las condiciones exigidas, independientemente del nivel de control de calidad que se establezca para la aceptación de los mismos.

El Contratista notificará al Director de Ejecución de la Obra, con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se proponga utilizar, aportando, cuando así lo solicite el Director de Ejecución de la Obra, las muestras y datos necesarios para decidir acerca de su aceptación.

Estos materiales serán reconocidos por el Director de Ejecución de la Obra antes de su empleo en obra, sin cuya aprobación no podrán ser acopiados en obra ni se podrá proceder a su colocación. Así mismo, aún después de colocados en obra, aquellos materiales que presenten defectos no percibidos en el primer reconocimiento, siempre que vaya en perjuicio del buen acabado de la obra, serán retirados de la obra.

Todos los gastos que ello ocasionase serán a cargo del Contratista.

El hecho de que el Contratista subcontrate cualquier partida de obra no le exime de su responsabilidad. La simple inspección o examen por parte de los Técnicos no supone la recepción absoluta de los mismos, siendo los oportunos ensayos los que determinen su idoneidad, no extinguiéndose la responsabilidad.

### **4.1.1 Garantías de calidad (Marcado CE)**

El marcado CE de un producto de construcción indica:

- Que éste cumple con unas determinadas especificaciones técnicas relacionadas con los requisitos esenciales contenidos en las Normas Armonizadas (EN) y en las Guías DITE (Guías para el Documento de Idoneidad Técnica Europeo).
- Que se ha cumplido el sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones indicado en los mandatos relativos a las normas armonizadas y en las especificaciones técnicas armonizadas.

Siendo el fabricante el responsable de su fijación y la Administración competente en materia de industria la que vele por la correcta utilización del marcado CE.

### **4.1.2 Zapata de cimentación de hormigón armado**

#### **MEDIDAS PARA ASEGURAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DIFERENTES PRODUCTOS, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE COMPONEN LA UNIDAD DE OBRA.**

Dependiendo de la agresividad del terreno o la presencia de agua con sustancias agresivas, se elegirá el cemento adecuado para la fabricación del hormigón, así como su dosificación y permeabilidad y el espesor de recubrimiento de las armaduras.

#### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Formación de zapata de cimentación de hormigón armado, realizada con **hormigón HA-30/B/20/IIa fabricado en central, y vertido desde camión**, y acero **UNE-EN 10080 B 500 S**, para **elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra**, con una cuantía aproximada de **50 kg/m<sup>3</sup>**, sin incluir el encofrado en este precio. Incluso p/p de separadores, y armaduras de espera del pilar.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón

- **Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).**

Ejecución

- **CTE. DB SE-C Seguridad estructural: Cimientos.**
- **NTE-CSZ. Cimentaciones superficiales: Zapatas.**

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto.

### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

#### **DEL SOPORTE.**

Se comprobará la existencia de la capa de hormigón de limpieza, que presentará un plano de apoyo horizontal y una superficie limpia.

#### **AMBIENTALES.**

Se suspenderán los trabajos de hormigonado cuando llueva con intensidad, nieve, exista viento excesivo, una temperatura ambiente superior a 40°C o se prevea que dentro de las 48 horas siguientes pueda descender la temperatura ambiente por debajo de los 0°C.

#### **DEL CONTRATISTA.**

Dispondrá en obra de una serie de medios, en previsión de que se produzcan cambios bruscos de las condiciones ambientales durante el hormigonado o posterior periodo de fraguado, no pudiendo comenzarse el hormigonado de los diferentes elementos sin la autorización por escrito del Director de Ejecución de la obra.

### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

#### **FASES DE EJECUCIÓN.**

Replanteo y trazado de las zapatas y de los pilares u otros elementos estructurales que apoyen en las mismas. Colocación de separadores y fijación de las armaduras. Vertido y compactación del hormigón. Coronación y enrase de cimientos. Curado del hormigón.

#### **CONDICIONES DE TERMINACIÓN.**

El conjunto será monolítico y transmitirá correctamente las cargas al terreno. La superficie quedará sin imperfecciones.

#### **CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Se protegerán y señalizarán las armaduras de espera.

## **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.

### **4.1.3 Placa de anclaje con pernos soldados y preparación de bordes**

#### **MEDIDAS PARA ASEGURAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DIFERENTES PRODUCTOS, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE COMPONEN LA UNIDAD DE OBRA.**

La zona de soldadura no se pintará. No se pondrá en contacto directo el acero con otros metales ni con yesos.

#### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Suministro y montaje de placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con rigidizadores, con pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 400 S. Trabajado y montado en taller. Incluso p/p de taladro central, preparación de bordes, biselado alrededor del taladro para mejorar la unión del perno a la cara superior de la placa, soldaduras, cortes, pletinas, piezas especiales, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje.

#### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución

- CTE. DB SE-A Seguridad estructural: Acero.
- UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.
- NTE-EAS. Estructuras de acero: Soportes.

#### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.

#### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

##### **AMBIENTALES.**

No se realizarán trabajos de soldadura cuando la temperatura sea inferior a 0°C.

##### **DEL CONTRATISTA.**

Presentará para su aprobación, al Director de Ejecución de la obra, el programa de montaje de la estructura, basado en las indicaciones del Proyecto, así como la documentación que acredite que los soldadores que intervengan en su ejecución estén certificados por un organismo acreditado.

#### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

##### **FASES DE EJECUCIÓN**

Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **CONDICIONES DE TERMINACIÓN**

La posición de la placa será correcta y estará ligada con la cimentación. El acabado superficial será el adecuado para el posterior tratamiento de protección.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

#### **4.1.4 Acero en pilares**

### **MEDIDAS PARA ASEGURAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DIFERENTES PRODUCTOS, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE COMPONEN LA UNIDAD DE OBRA**

La zona de soldadura no se pintará. No se pondrá en contacto directo el acero con otros metales ni con yesos.

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Suministro y montaje de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, para pilares, mediante uniones soldadas. Trabajado y montado en taller, con preparación de superficies en grado SA21/2 según UNE-EN ISO 8501-1 y aplicación posterior de dos manos de imprimación con un espesor mínimo de película seca de 30 micras por mano, excepto en la zona en que deban realizarse soldaduras en obra, en una distancia de 100 mm desde el borde de la soldadura. Incluso p/p de preparación de bordes, soldaduras, cortes, piezas especiales, placas de arranque y transición de pilar inferior a superior, mortero sin retracción para retacado de placas, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje, con el mismo grado de preparación de superficies e imprimación.

### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución

- CTE. DB SE-A Seguridad estructural: Acero.
- UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.
- NTE-EAS. Estructuras de acero: Soportes.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto.

### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

#### **AMBIENTALES**

No se realizarán trabajos de soldadura cuando la temperatura sea inferior a 0°C.

## **DEL CONTRATISTA**

Presentará para su aprobación, al Director de Ejecución de la obra, el programa de montaje de la estructura, basado en las indicaciones del Proyecto, así como la documentación que acredite que los soldadores que intervengan en su ejecución estén certificados por un organismo acreditado.

## **PROCESO DE EJECUCIÓN**

### **FASES DE EJECUCIÓN**

Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional del pilar. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.

### **CONDICIONES DE TERMINACIÓN**

Las cargas se transmitirán correctamente a la estructura. El acabado superficial será el adecuado para el posterior tratamiento de protección.

## **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

### **4.1.5 Acero en vigas**

## **MEDIDAS PARA ASEGURAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DIFERENTES PRODUCTOS, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE COMPONEN LA UNIDAD DE OBRA**

La zona de soldadura no se pintará. No se pondrá en contacto directo el acero con otros metales ni con yesos.

## **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Suministro y montaje de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, para vigas y correas, mediante uniones soldadas. Trabajado y montado en taller, con preparación de superficies en grado SA21/2 según UNE-EN ISO 8501-1 y aplicación posterior de dos manos de imprimación con un espesor mínimo de película seca de 30 micras por mano, excepto en la zona en que deban realizarse soldaduras en obra, en una distancia de 100 mm desde el borde de la soldadura. Incluso p/p de preparación de bordes, soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje, con el mismo grado de preparación de superficies e imprimación.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

#### Ejecución

- CTE. DB SE-A Seguridad estructural: Acero.
- UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.
- NTE-EAV. Estructuras de acero: Vigas.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto.

### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

#### **AMBIENTALES**

No se realizarán trabajos de soldadura cuando la temperatura sea inferior a 0°C.

#### **DEL CONTRATISTA**

Presentará para su aprobación, al Director de Ejecución de la obra, el programa de montaje de la estructura, basado en las indicaciones del Proyecto, así como la documentación que acredite que los soldadores que intervengan en su ejecución estén certificados por un organismo acreditado.

### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

#### **FASES DE EJECUCIÓN**

Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la viga. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.

#### **CONDICIONES DE TERMINACIÓN**

Las cargas se transmitirán correctamente a la estructura. El acabado superficial será el adecuado para el posterior tratamiento de protección.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

#### **4.1.6 Acero en correas metálicas**

### **MEDIDAS PARA ASEGURAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DIFERENTES PRODUCTOS, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE COMPONEN LA UNIDAD DE OBRA**

No se pondrá en contacto directo el acero con otros metales ni con yesos.

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Suministro y montaje de acero galvanizado UNE-EN 10025 S235JRC, en perfiles conformados en frío, piezas simples de las series C o Z, para formación de correas sobre las que se apoyará la chapa o panel que actuará como cubierta (no incluida en este precio), y quedarán fijadas a las cerchas mediante tornillos normalizados. Incluso p/p de accesorios y elementos de anclaje.

### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución

- CTE. DB SE-A Seguridad estructural: Acero.
- UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto.

### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

#### **DEL CONTRATISTA**

Presentará para su aprobación, al Director de Ejecución de la obra, el programa de montaje de la estructura, basado en las indicaciones del Proyecto.

### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

#### **FASES DE EJECUCIÓN**

Replanteo de las correas sobre las cerchas. Presentación de las correas sobre las cerchas. Aplomado y nivelación definitivos. Resolución de sus fijaciones a las cerchas.

#### **CONDICIONES DE TERMINACIÓN**

Las cargas se transmitirán correctamente a la estructura.

### **CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Se evitará la actuación sobre el elemento de acciones mecánicas no previstas en el cálculo.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

#### **4.1.7 Cubierta inclinada de paneles de acero con aislamiento**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Suministro y montaje de cobertura de faldones de cubiertas inclinadas, con una pendiente mayor del 10%, con paneles de acero con aislamiento incorporado, de 30 mm de espesor y 1000 mm de ancho, formados por dos paramentos de chapa de acero estándar, acabado prelacado, de espesor exterior 0,5 mm y espesor interior 0,5 mm y alma aislante de poliuretano de densidad media 40 kg/m<sup>3</sup>, y accesorios, fijados mecánicamente a cualquier tipo de correa estructural (no incluida en este precio). Incluso p/p de elementos de fijación, accesorios y juntas.

### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución CTE. DB HS Salubridad.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Superficie medida en verdadera magnitud, según documentación gráfica de Proyecto.

### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

#### **DEL SOPORTE**

La naturaleza del soporte permitirá el anclaje mecánico de las placas, y su dimensionamiento garantizará la estabilidad, con flecha mínima, del conjunto.

#### **AMBIENTALES**

Se suspenderán los trabajos cuando la temperatura ambiente sea inferior a 1°C, llueva, nieve o la velocidad del viento sea superior a 50 km/h.

### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

#### **FASES DE EJECUCIÓN**

Replanteo de los paneles por faldón. Ejecución de juntas y perímetro. Fijación mecánica de los paneles.

#### **CONDICIONES DE TERMINACIÓN**

Serán básicas las condiciones de estanqueidad y el mantenimiento de la integridad de la cobertura frente a la acción del viento.

## **CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Se evitará la actuación sobre el elemento de acciones mecánicas no previstas en el cálculo.

## **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá, en verdadera magnitud, la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.

### **4.1.8 Fachada de panel sándwich**

#### **MEDIDAS PARA ASEGURAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DIFERENTES PRODUCTOS, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE COMPOEN LA UNIDAD DE OBRA**

No se pondrá en contacto directo el acero con otros metales ni con yesos.

#### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Suministro y montaje de cerramiento de fachada con panel sándwich aislante para fachadas, de 35 mm de espesor y 1100 mm de ancho, formado por dos paramentos de chapa nervada de acero prelacado, de espesor exterior 0,5 mm y espesor interior 0,5 mm y alma aislante de poliuretano de densidad media 40 kg/m<sup>3</sup>, con junta diseñada para fijación con tornillos ocultos, remates y accesorios. Incluso replanteo, p/p de mermas, remates, cubrejuntas y accesorios de fijación y estanqueidad. Totalmente montado.

#### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución CTE. DB HE Ahorro de energía.

#### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros, deduciendo los huecos de superficie mayor de 3 m<sup>2</sup>.

#### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

##### **DEL SOPORTE**

Se comprobará que la estructura portante presenta aplomado, planeidad y horizontalidad adecuados.

##### **AMBIENTALES**

Se suspenderán los trabajos cuando llueva, nieve o la velocidad del viento sea superior a 50 km/h.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

#### **FASES DE EJECUCIÓN**

Replanteo de los paneles. Colocación del remate inferior de la fachada. Colocación de juntas. Colocación y fijación del primer panel. Colocación y fijación del resto de paneles, según el orden indicado. Remates.

#### **CONDICIONES DE TERMINACIÓN**

El conjunto será resistente y estable frente a las acciones, tanto exteriores como provocadas por el propio edificio. La fachada será estanca y tendrá buen aspecto.

### **CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Se protegerá durante las operaciones que pudieran ocasionarle manchas o daños mecánicos. Se evitará la actuación sobre el elemento de acciones mecánicas no previstas en el cálculo.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros, deduciendo los huecos de superficie mayor de 3 m<sup>2</sup>.

#### **4.1.9 Pulsadores de alarma**

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Suministro e instalación de pulsador de alarma convencional de rearme manual, de ABS color rojo, protección IP 41, con led indicador de alarma color rojo y llave de rearme. Totalmente montado, conexionado y probado.

### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Instalación

- CTE. DB HS Salubridad.
- Reglamento de Instalaciones de protección contra incendios.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.

### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

#### **DEL SOPORTE**

Se comprobará que su situación se corresponde con la de Proyecto y que hay espacio suficiente para su instalación.

## **DEL CONTRATISTA**

Las instalaciones se ejecutarán por empresas instaladoras autorizadas para el ejercicio de la actividad.

## **FASES DE EJECUCIÓN**

Replanteo. Fijación en paramento mediante elementos de anclaje. Montaje y conexionado del pulsador de alarma.

## **CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Se protegerá de la humedad y del contacto con materiales agresivos.

## **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

### **4.1.10 Detectores**

## **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Suministro e instalación de detector óptico de humos y térmico convencional, de ABS color blanco, formado por un elemento sensible a humos claros y a el incremento lento de la temperatura para una temperatura máxima de alarma de 60°C, para alimentación de 12 a 30 Vcc, con doble led de activación e indicador de alarma color rojo, salida para piloto de señalización remota y base universal. Totalmente montado, conexionado y probado.

## **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Instalación

- CTE. DB HS Salubridad.
- Reglamento de Instalaciones de protección contra incendios.

## **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.

## **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

### **DEL SOPORTE**

Se comprobará que su situación se corresponde con la de Proyecto y que hay espacio suficiente para su instalación.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **DEL CONTRATISTA**

Las instalaciones se ejecutarán por empresas instaladoras autorizadas para el ejercicio de la actividad.

### **FASES DE EJECUCIÓN**

Replanteo. Fijación de la base. Montaje del detector. Conexionado.

### **CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Se protegerá de la humedad y del contacto con materiales agresivos.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

#### **4.1.11 Extintores**

### **MEDIDAS PARA ASEGURAR LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS DIFERENTES PRODUCTOS, ELEMENTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE COMPONEN LA UNIDAD DE OBRA**

En caso de utilizar en un mismo local extintores de tipos diferentes, se tendrá en cuenta la posible incompatibilidad entre los distintos agentes de los mismos.

### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Suministro y colocación de extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, con presión incorporada, de eficacia 21A-144B-C, con 6 kg de agente extintor, con manómetro y manguera con boquilla difusora. Incluso soporte y accesorios de montaje. Totalmente montado.

### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Instalación

- CTE. DB HS Salubridad.
- Reglamento de Instalaciones de protección contra incendios.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.

**CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

**DEL SOPORTE**

Se comprobará que su situación se corresponde con la de Proyecto y que la zona de ubicación está completamente terminada.

**DEL CONTRATISTA**

Las instalaciones se ejecutarán por empresas instaladoras autorizadas para el ejercicio de la actividad.

**PROCESO DE EJECUCIÓN**

**FASES DE EJECUCIÓN**

Replanteo de la situación del extintor. Colocación y fijación del soporte. Colocación del extintor.

**CONDICIONES DE TERMINACIÓN**

El extintor quedará totalmente visible. Llevará incorporado su correspondiente placa identificativa.

**CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Se protegerá frente a golpes.

**CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

**4.1.12 Bocas de incendio equipadas**

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Suministro e instalación de boca de incendio equipada (BIE) de 25 mm (1") de superficie, compuesta de: armario construido en acero de 1,2 mm de espesor, acabado con pintura epoxi color rojo RAL 3000 y puerta semiciega con ventana de metacrilato de acero de 1,2 mm de espesor, acabado con pintura epoxi color rojo RAL 3000; devanadera metálica giratoria fija, pintada en rojo epoxi, con alimentación axial; manguera semirrígida de 20 m de longitud; lanza de tres efectos (cierre, pulverización y chorro compacto) construida en plástico ABS y válvula de cierre tipo esfera de 25 mm (1"), de latón, con manómetro 0-16 bar, colocada en paramento, con toma adicional de 45 mm (1 1/2"). Incluso accesorios y elementos de fijación. Totalmente montada, conexionada y probada.

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

#### Instalación

- CTE. DB HS Salubridad.
- Reglamento de Instalaciones de protección contra incendios.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.

### **CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA**

#### **DEL SOPORTE**

Se comprobará que su situación se corresponde con la de Proyecto y que la zona de ubicación está completamente terminada.

#### **DEL CONTRATISTA**

Las instalaciones se ejecutarán por empresas instaladoras autorizadas para el ejercicio de la actividad.

### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

#### **FASES DE EJECUCIÓN**

Replanteo de la BIE, coordinado con el resto de instalaciones o elementos que puedan tener interferencias. Fijación del armario al paramento. Conexión a la red de distribución de agua.

#### **CONDICIONES DE TERMINACIÓN**

La accesibilidad y señalización serán adecuadas.

### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

# **ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO**

## 1 Estado de mediciones

En este apartado se va a realizar una medición de las cantidades necesarias de cada partida a presupuestar, en las unidades correspondientes de cada una. Para ello, se ha dividido el presupuesto en las siguientes partidas:

- Estructura metálica:
  - Acero laminado en caliente S275 en pilares (kg)
  - Acero laminado en caliente S275 en vigas (kg)
  - Acero conformado S235 en correas (kg)
  - Cubierta inclinada de paneles de acero (m<sup>2</sup>)
  - Fachada de panel sándwich (m<sup>2</sup>)
  
- Obra civil
  - Hormigón estructural en zapatas (m<sup>3</sup>)
  - Placas de anclaje (EA)
  
- Protección contra incendio
  - Pulsadores de alarma (EA)
  - Detectores de incendio (EA)
  - Extintores (EA)
  - BIE's (EA)
  - Pintura intumescente (m<sup>2</sup>)

A continuación se va a realizar los resultados de medición de las partidas correspondientes a la estructura metálica.

### 1.1 Acero laminado en caliente S275

Gracias a CYPE, una vez se tiene la estructura dimensionada se puede extraer unos listados con las mediciones de cada perfil.

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m <sup>3</sup> )	Serie (m <sup>3</sup> )	Material (m <sup>3</sup> )	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	R	HE 280 A	131.530			1.280			10046.33		
			HEA		131.530		1.280		10046.33			
			RHS 145x82x5.4	311.090			0.702			5514.41		
			RHS		311.090		0.702		5514.41			
			SHS 80x80x4.0	332.685			0.391			3065.55		
			SHS 91.5x91.5x4.5	73.520			0.111			872.99		
			SHS		406.205		0.502		3938.53			
			IPE 100	127.440			0.131			1030.42		
			IPE 450	46.620			0.461			3615.75		
			IPE		174.060		0.592		4646.17			
			R 16	332.425			0.067			524.68		
					332.425		0.067		524.68			
				1355.310		3.143		24670.12				

Tabla 22: Resumen de mediciones de perfiles.

Con ayuda de la tabla anterior es fácil llegar a los siguientes resultados:

- El acero en pilares corresponde con los perfiles HE 280 A y con los perfiles IPE 450.

**Total kg Acero en pilares S275: 13.662,08 kg**

- El acero en vigas y arriostramientos corresponde con los perfiles RHS, SHS, IPE 100 y R 16.

**Total kg Acero en vigas S275: 11.008,04 kg**

## 1.2 Acero conformado S235

De la misma forma que antes, gracias a CYPE se obtiene la siguiente tabla.

<b>Medición de correas</b>			
Tipo de correas	Nº de correas	Peso lineal kg/m	Peso superficial kg/m <sup>2</sup>
Correas de cubierta	21	168.19	7.57
Correas laterales	20	160.18	7.21

*Tabla 23: Medición de correas.*

En este caso el programa da información con respecto a los kg/m, por lo que se tiene que multiplicar esta cantidad por la longitud de la nave (31,86 m)

**Total kg Acero en correas S235: 8.802,30 kg**

## 1.3 Cubierta y cerramientos de fachada

Para la medición de cubiertas y cerramientos, es necesario hacer un cálculo de las superficies a tapar.

- Cubierta: 22,22 m x 31,86 m

**Total superficie cubierta: 708 m<sup>2</sup>**

- Cerramiento de fachada :

Lateral este	9,27 m x 31,86 m	296 m <sup>2</sup>
Lateral oeste	9,52 m x 31,86 m	304 m <sup>2</sup>
Fachadas	2 x 9,40 m x 22,22 m	418 m <sup>2</sup>

**Total superficie fachada: 1018 m<sup>2</sup>**

## TRABAJO FIN DE GRADO

### 1.4 Pintura intumescente

En cuanto a la pintura intumescente para proteger la estructura frente al fuego, es necesario conocer las superficies de todos los perfiles estructurales a pintar.

<b>Acero laminado: Medición de las superficies a pintar</b>				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m <sup>2</sup> /m)	Longitud (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )
HEA	HE 280 A	1.644	131.530	216.235
RHS	RHS 145x82x5.4	0.435	311.090	135.334
SHS	SHS 80x80x4.0	0.306	332.685	101.784
	SHS 91.5x91.5x4.5	0.350	73.520	25.744
IPE	IPE 100	0.412	127.440	52.480
	IPE 450	1.641	46.620	76.513
R	R 16	0.050	332.425	16.709
<b>Total</b>				<b>624.799</b>

*Tabla 24: Medición de superficies a pintar.*

### 1.5 Zapatas de cimentación

El hormigón vertido para las zapatas se mide en m<sup>3</sup>, por lo que hay que realizar los siguientes cálculos:

- Zapata tipo A                    800 x 320 x 80 cm    4 unidades
- Zapata tipo B                    340 x 340 x 80 cm    6 unidades
- Zapata tipo C                    370 x 370 x 80 cm    6 unidades

**Total volumen zapatas:        204 m<sup>3</sup> hormigón**

## 2 Presupuesto

### 2.1 Cimentación y anclaje

	Precio m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Total €
Zapata de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-30/B/20/IIa fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 50 kg/m <sup>3</sup> , sin incluir encofrado	148,61	204	30.316,44
	Precio Ud	Unidades	Total €
Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, con rigidizadores, de 450x450 mm y espesor 25 mm, con 10 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 400 S de 20 mm de diámetro y 45 cm de longitud total.	95,11	4	380,44
Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, con rigidizadores, de 500x800 mm y espesor 25 mm, con 12 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 400 S de 25 mm de diámetro y 65 cm de longitud total.	179,22	6	1.075,32
Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, con rigidizadores, de 450x450 mm y espesor 25 mm, con 12 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 400 S de 20 mm de diámetro y 55 cm de longitud total.	97,10	4	388,40
Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, con rigidizadores, de 550x550 mm y espesor 25 mm, con 12 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 400 S de 25 mm de diámetro y 60 cm de longitud total.	142,44	6	854,64
<b>Total</b>			<b>33.015,24 €</b>

## TRABAJO FIN DE GRADO

### 2.2 Estructura metálica

	Precio kg	kg	Total €
Acero S275JR en pilares, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM con uniones soldadas.	2,07	13.662,08	28.280,51
Acero S275JR en vigas, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM con uniones soldadas.	2,07	1.555,10	3.219,06
Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, cerchas, para aplicaciones estructurales.	7,45	9.452,94	70.424,40
Acero S235JRC en correas metálicas, con piezas simples de perfiles conformados en frío de las series C o Z, galvanizado y colocado en obra con tornillos.	2,55	8.802,30	22.445,87
<hr/>			
<b>Total</b>			<b>124.369,83 €</b>

### 2.3 Cerramientos

	Precio m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Total €
Cubierta inclinada de paneles de acero con aislamiento incorporado, de 30 mm de espesor y 1000 mm de ancho, con una pendiente menor del 10%.	27,10	708	19.186,80
Cerramiento de fachada formado por panel sándwich aislante para fachadas, de 35 mm de espesor y 1100 mm de ancho, formado por dos paramentos de chapa nervada de acero prelacado, de espesor exterior 0,5 mm y espesor interior 0,5 mm y alma aislante de poliuretano de densidad media 40 kg/m <sup>3</sup> , con sistema de fijación oculto.	60,01	1018	61.090,18
<b>Total</b>			<b>80.276,98 €</b>

## TRABAJO FIN DE GRADO

### 2.4 Protección contra incendios

	Precio Ud	Unidades	Total €
Pulsador de alarma convencional de rearme manual.	28,02	6	168,12
Detector óptico de humos y térmico convencional, de ABS color blanco.	36,69	5	183,45
Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, con presión incorporada, de eficacia 21A-144B-C, con 6 kg de agente extintor.	45,36	8	362,88
Boca de incendio equipada (BIE) de 25 mm (1") de superficie, compuesta de: armario de acero, acabado con pintura color rojo y puerta semiciega de acero, acabado con pintura color rojo; devanadera metálica giratoria fija; manguera semirrígida de 20 m de longitud; lanza de tres efectos y válvula de cierre, colocada en paramento, con toma adicional de 45 mm (1 1/2").	540,36	4	2.161,44
	Precio m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Total €
Protección pasiva contra incendios de estructura metálica con revestimiento intumescente EI 60 (916 micras) y aplicación de una mano de imprimación selladora de dos componentes, a base de resinas epoxi y fosfato de zinc, color gris.	37,49	624,80	23.423,75
<b>Total</b>			<b>28.459,08 €</b>

**2.5 Presupuesto total****Presupuesto de Ejecución de Material (PEM)**

Cimentación y anclajes	33.015,24 €
Estructura metálica	124.369,83 €
Cerramientos	80.276,98 €
Protección contra incendios	28.459,08 €

---

<b>Total</b>	<b>266.121,13 €</b>
--------------	---------------------

El Presupuesto de Ejecución de Material asciende a la cantidad de DOSCIENTOS SESENTA Y SEIS MIL CIENTO VEINTIÚN EUROS CON TRECE CÉNTIMOS.

**Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)**

Presupuesto Ejecución Material	266.121,13 €
Gastos generales 13 %	34.595,75 €
Beneficio Industrial 6 %	15.967,27 €

---

<b>Total</b>	<b>316.684,15 €</b>
--------------	---------------------

I.V.A. 21 %	66.503,67 €
-------------	-------------

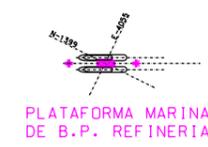
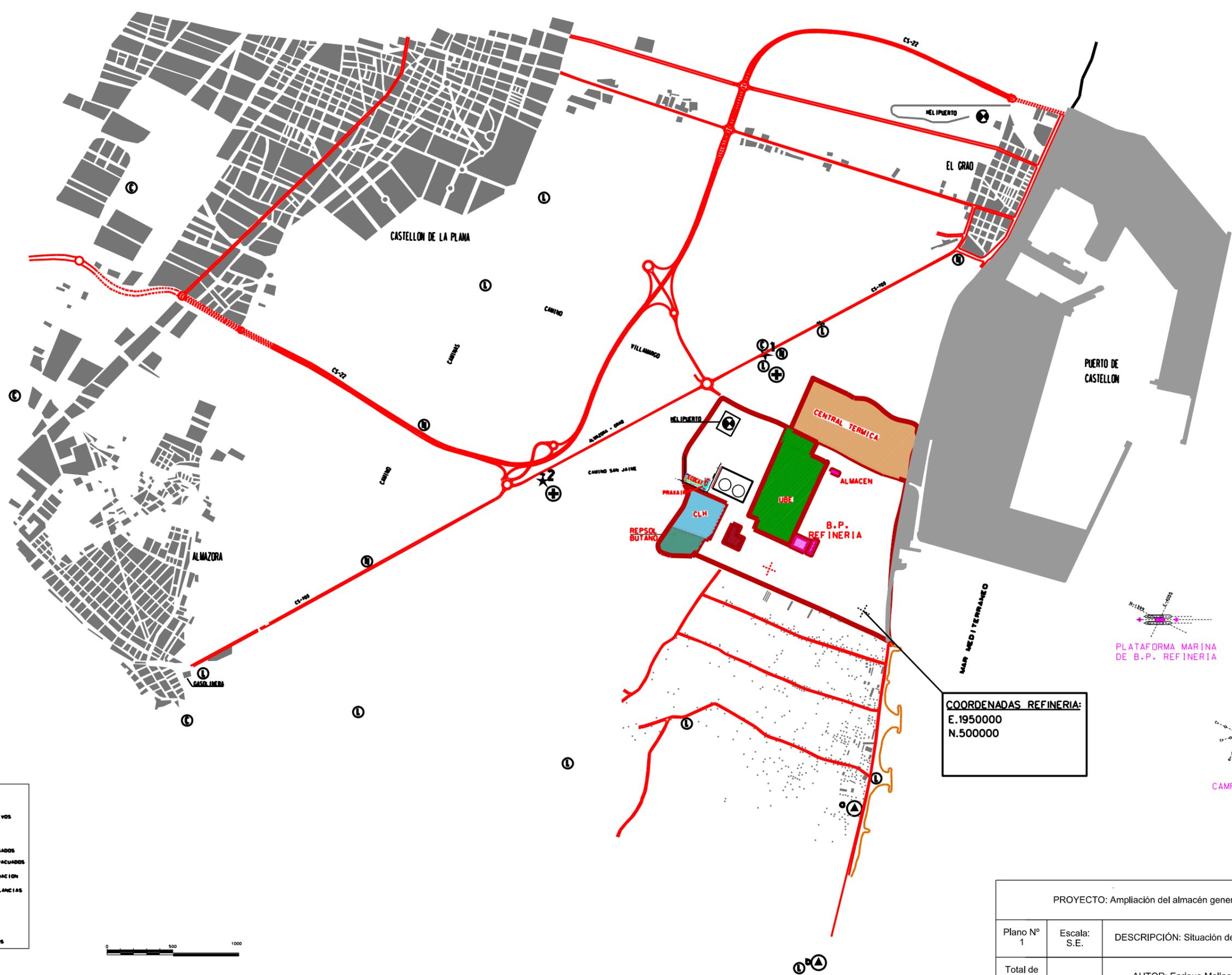
---

<b>Total PEC</b>	<b>383.187,82 €</b>
------------------	---------------------

**El presupuesto de Ejecución por Contrata asciende a la cantidad de TRESCIENTOS OCHENTA Y TRES MIL CIENTO OCHENTA Y SIETE EUROS CON OCHENTA Y DOS CÉNTIMOS.**



# PLANOS

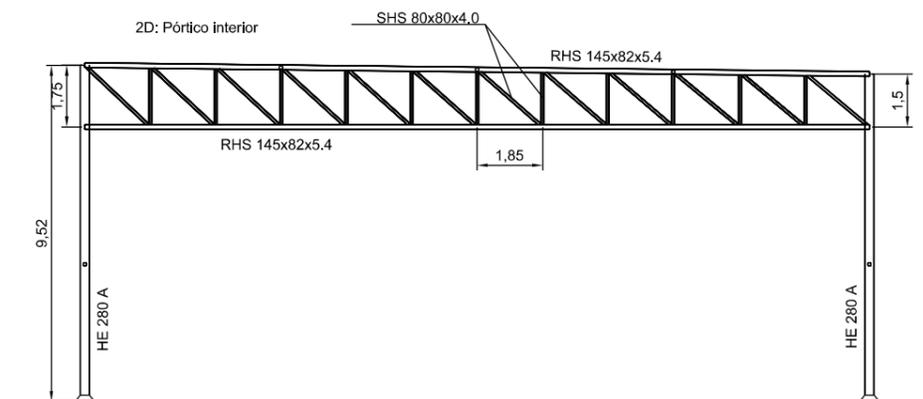
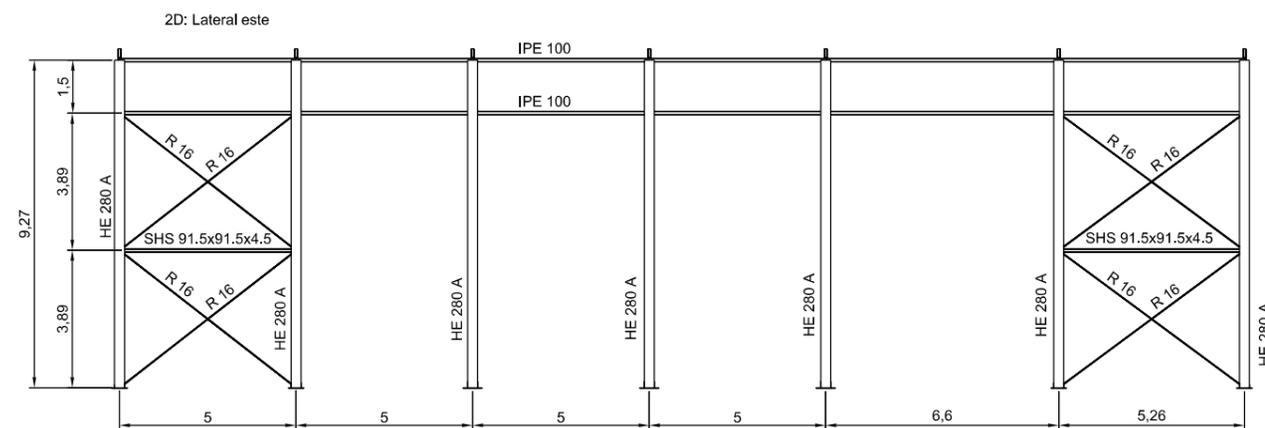
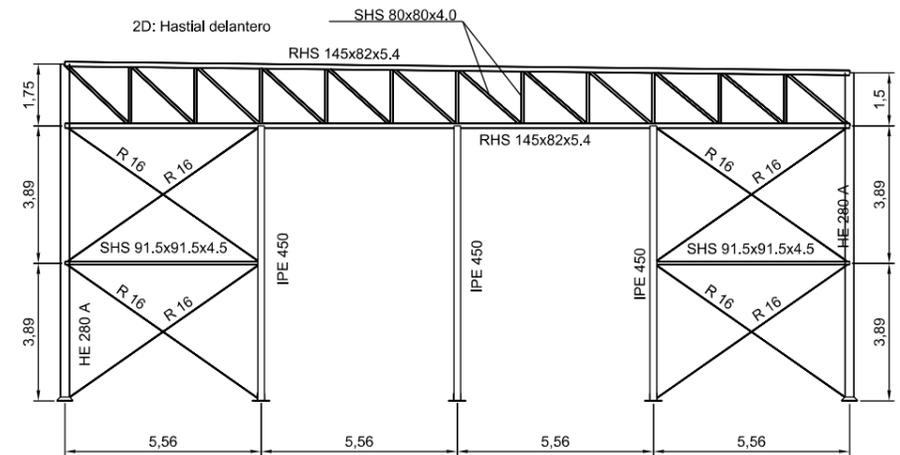
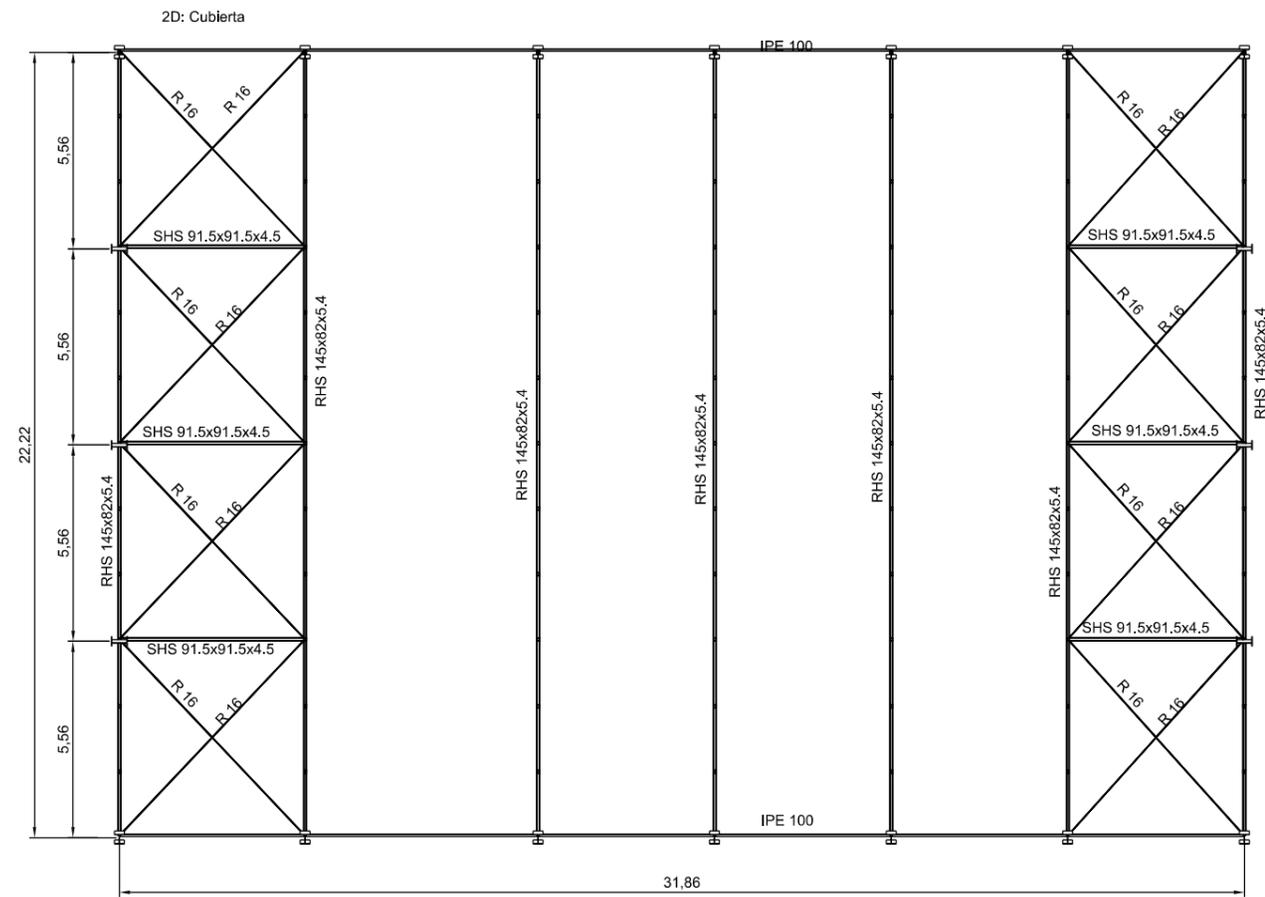


**COORDENADAS REFINERIA:**  
E.1950000  
N.500000

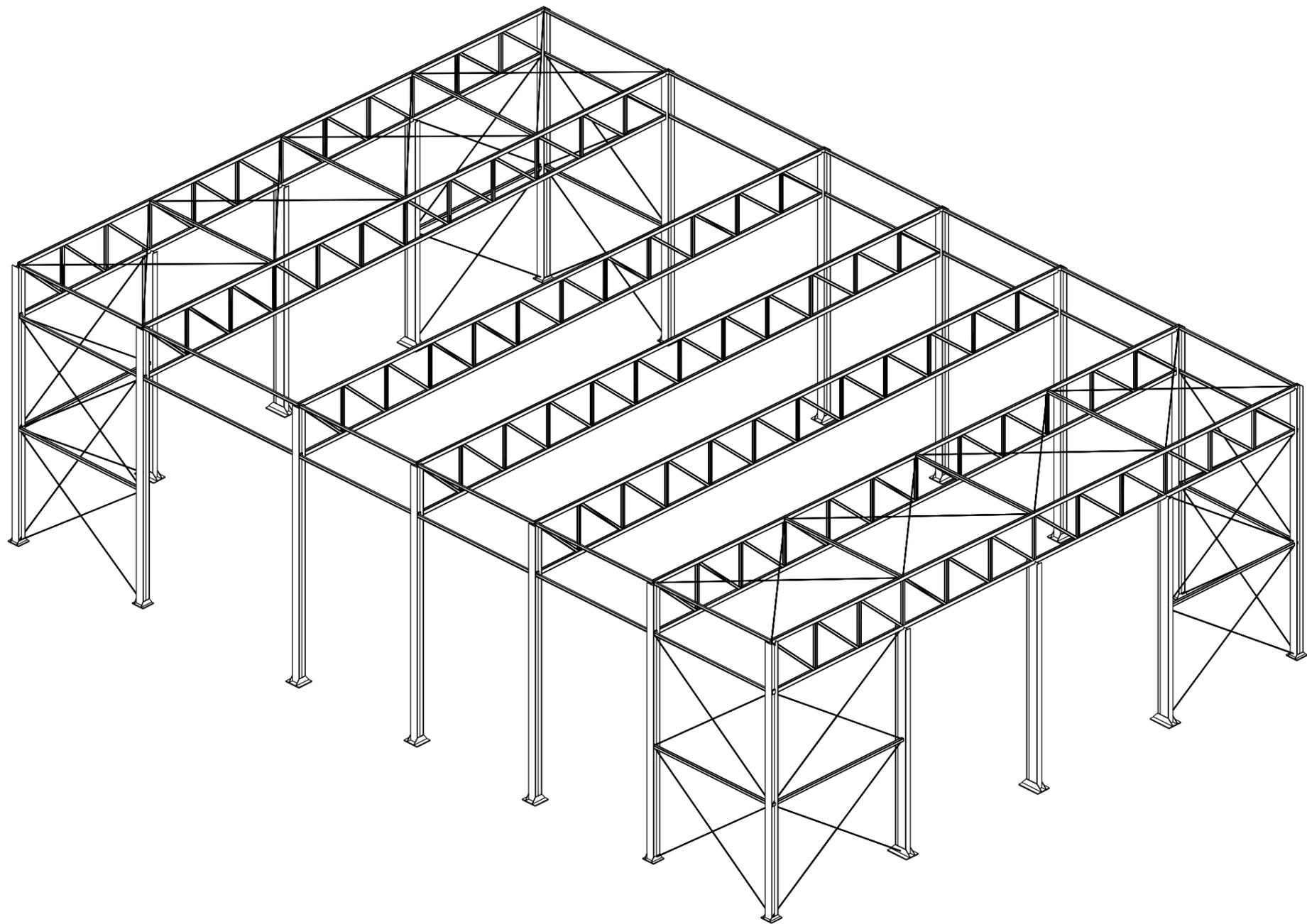
- ZONA DE INTERVENCIÓN
- ZONA DE ALERTA
- PUESTOS DE MANDOS OPERATIVOS
- CIRCULACIÓN AMBULANCIAS
- CIRCULACIÓN AUTOMÓVILES
- CIRCULACIÓN VEHÍCULOS PESADOS
- CENTRO DE RECEPCIÓN DE EVACUADOS
- PUNTO CONCENTRACIÓN EVACUADOS
- PUNTO CONCENTRACIÓN AMBULANCIAS
- CONTROL GUARDIA CIVIL
- CONTROL POLICIA NACIONAL
- CONTROL POLICIA LOCAL
- ATERRIZAJE DE HELICOPTEROS



PROYECTO: Ampliación del almacén general de Refinería.		
Plano Nº 1	Escala: S.E.	DESCRIPCIÓN: Situación de la Refinería
Total de Planos: 8	AUTOR: Enrique Moliner Gaitán	15/06/2016



PROYECTO: Ampliación del almacén general de Refinería.			
Plano Nº 2	Escala 1:200	DESCRIPCIÓN: Plano de secciones Pórticos, Fachada y Lateral.	
Total de Planos: 8		AUTOR: Enrique Moliner Galtán	15/06/2016



PROYECTO: Ampliación del almacén general de Refinería.			
Plano Nº 3	Escala 1:150	DESCRIPCIÓN: Plano de estructura 3D.	
Total de Planos: 8		AUTOR: Enrique Moliner Gaitán	15/06/2016



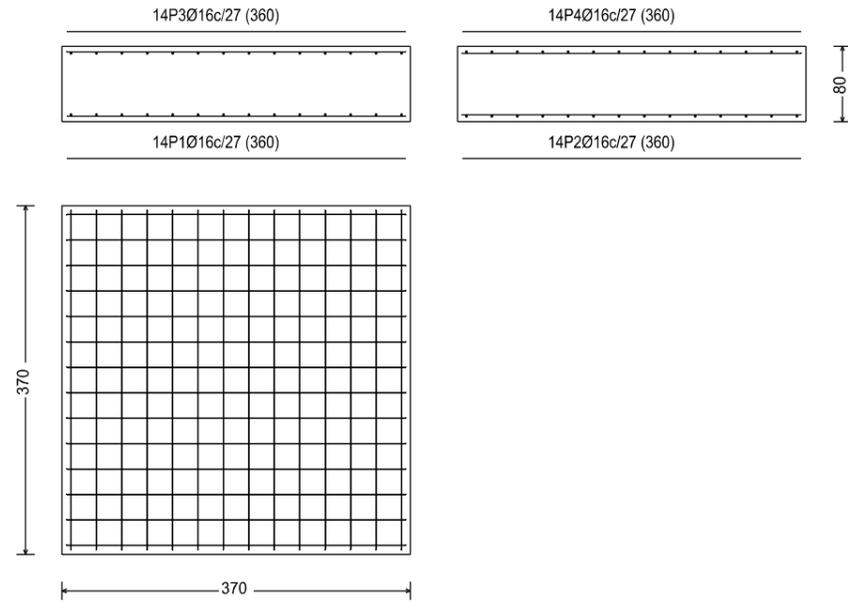
CUADRO DE ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN						
Referencias	Dimensiones (cm)	Canto (cm)	Armado inf. X	Armado inf. Y	Armado sup. X	Armado sup. Y
(N3 - N7), (N1 - N5), (N21 - N25) y (N23 - N27)	800x320	80	12Ø16c/27	30Ø16c/27	12Ø16c/27	30Ø16c/27
N9, N11, N13, N15, N17 y N19	340x340	80	13Ø16c/27	13Ø16c/27	13Ø16c/27	13Ø16c/27
N29, N30, N31, N32, N33 y N34	370x370	80	14Ø16c/27	14Ø16c/27	14Ø16c/27	14Ø16c/27

Cuadro de arranques		
Referencias	Pernos de Placas de Anclaje	Dimensión de Placas de Anclaje
N29, N31, N33, N34, N32 y N30	12 Pernos Ø 25	Placa base (500x800x25)
N9, N13, N17, N19, N15 y N11	12 Pernos Ø 25	Placa base (550x550x25)
N3, N1, N27 y N25	10 Pernos Ø 20	Placa base (450x450x25)
N7, N5, N23 y N21	12 Pernos Ø 20	Placa base (450x450x25)

PROYECTO: Ampliación del almacén general de Refinería.			
Plano N° 4	Escala 1:175	DESCRIPCIÓN: Plano en planta de cimentaciones.	
Total de Planos: 8		AUTOR: Enríque Moliner Gaitán	15/06/2016

### Zapata Tipo C

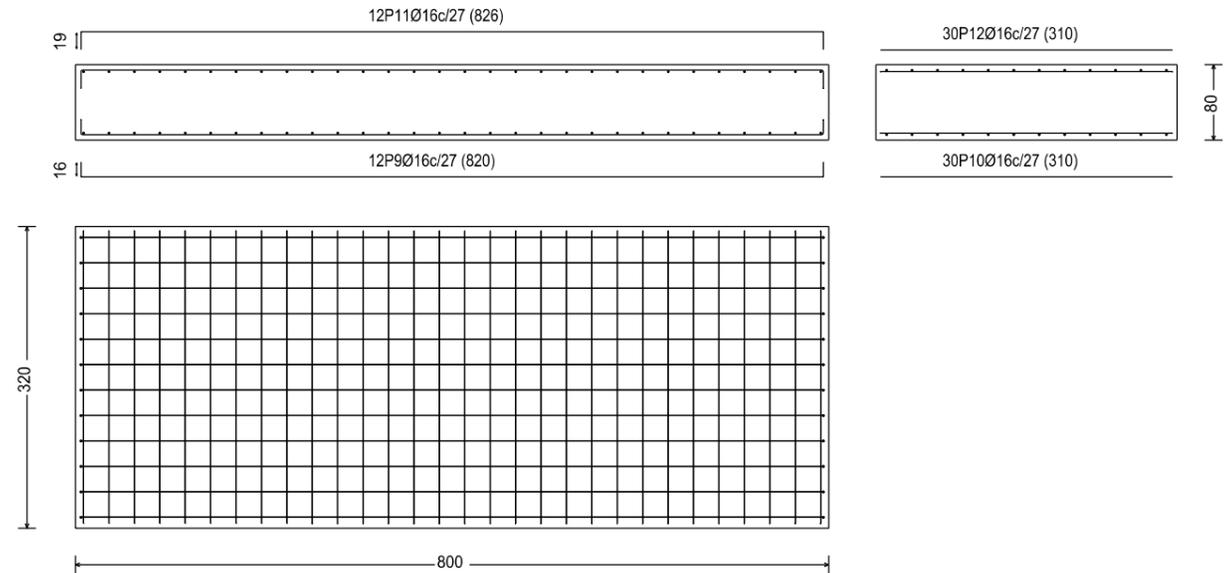
N29, N31, N33, N34, N32 y N30



Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	B 500 S, CN (kg)
N29=N31=N33=N34=N32=N30	1	Ø16	14	360	5040	79.5
	2	Ø16	14	360	5040	79.5
	3	Ø16	14	360	5040	79.5
	4	Ø16	14	360	5040	79.5
Total+10%: (x6):						349.8
N9=N13=N17=N19=N15=N11	5	Ø16	13	330	4290	67.7
	6	Ø16	13	330	4290	67.7
	7	Ø16	13	330	4290	67.7
	8	Ø16	13	330	4290	67.7
Total+10%: (x6):						297.9
(N3 - N7)=(N1 - N5)=(N23 - N27) (N21 - N25)	9	Ø16	12	820	9840	155.3
	10	Ø16	30	310	9300	146.8
	11	Ø16	12	826	9912	156.4
	12	Ø16	30	310	9300	146.8
Total+10%: (x4):						665.8
						2663.2
						Ø16:
						6549.4
						Total:
						6549.4

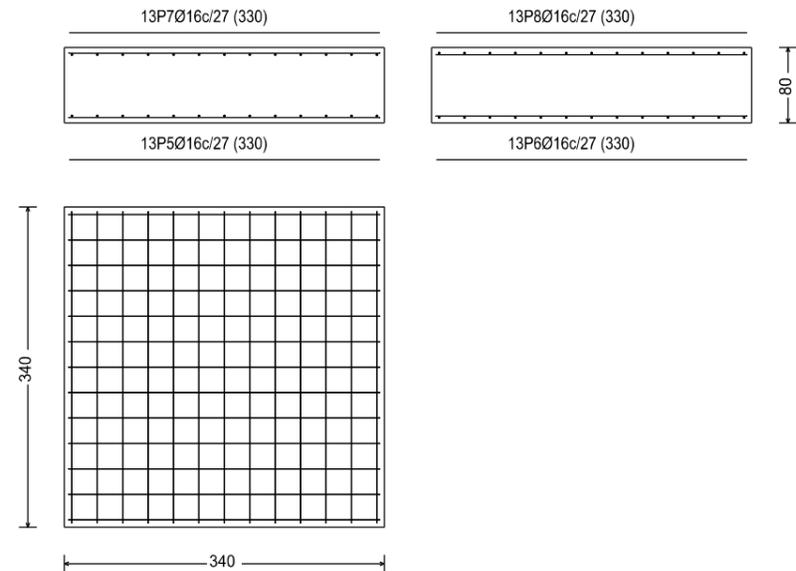
### Zapata Tipo A

(N3 - N7), (N1 - N5), (N23 - N27) y (N21 - N25)

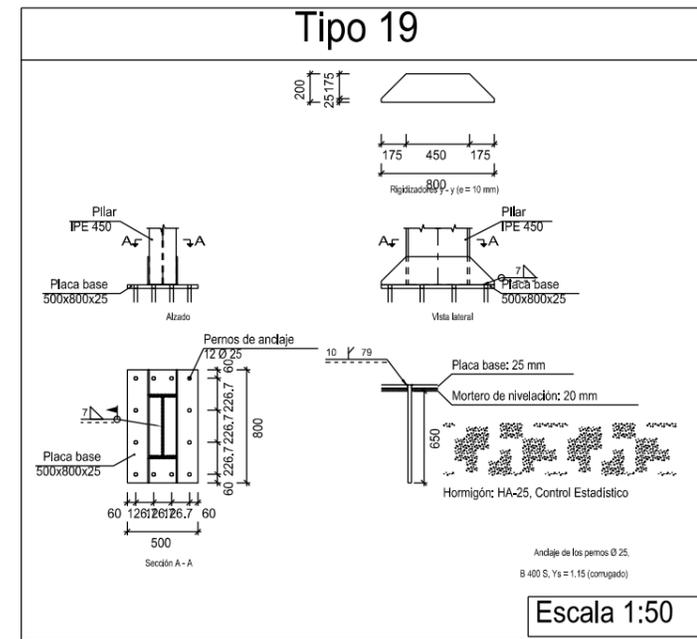
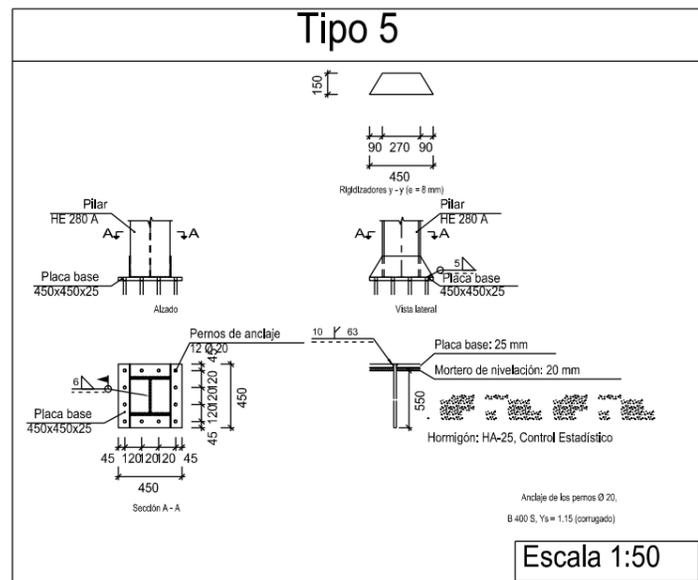
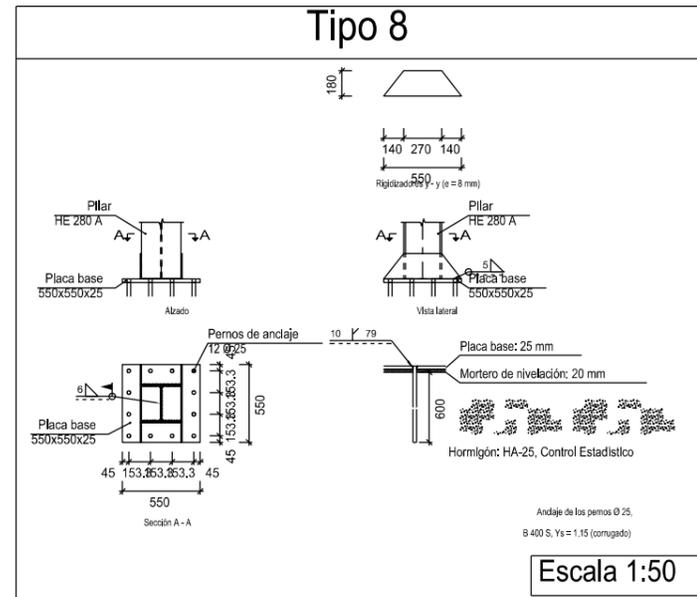
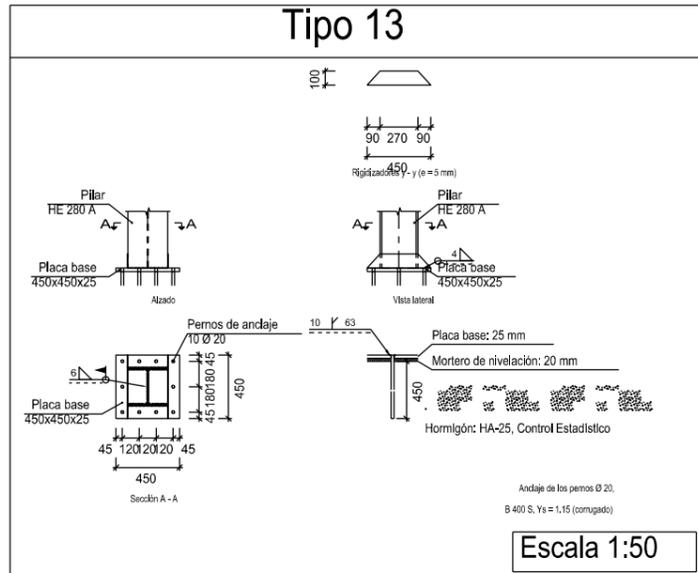


### Zapata Tipo B

N9, N13, N17, N19, N15 y N11



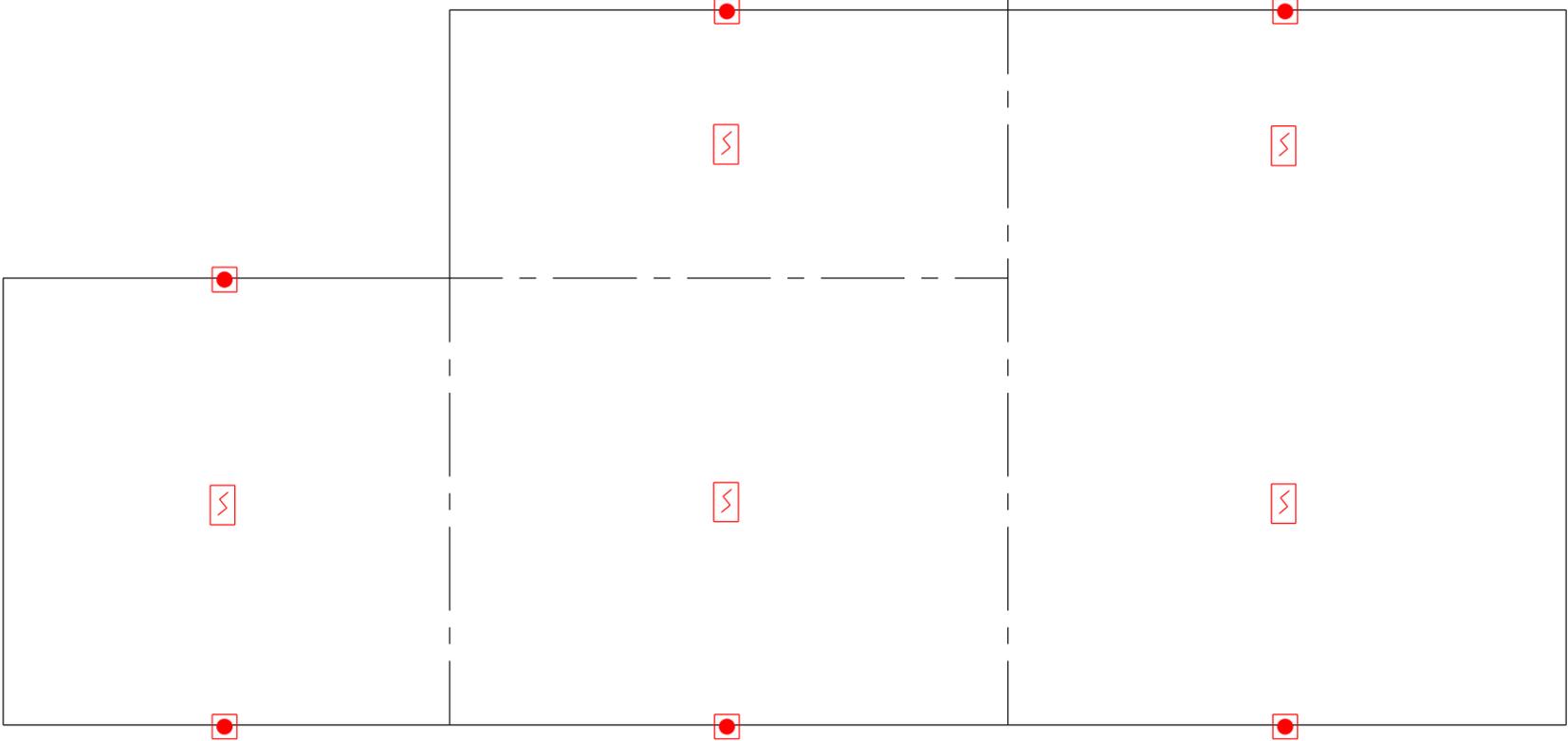
PROYECTO: Ampliación del almacén general de Refinería.			
Plano N° 5	Escala 1:75	DESCRIPCIÓN: Plano despiece zapatas.	
Total de Planos: 8		AUTOR: Enrique Moliner Gaitán	15/06/2016



PROYECTO: Ampliación del almacén general de Refinería.			
Plano Nº 6	Escala 1:50	DESCRIPCIÓN: Plano de placas de anclaje.	
Total de Planos: 8		AUTOR: Enrique Moliner Gaitán	15/06/2016

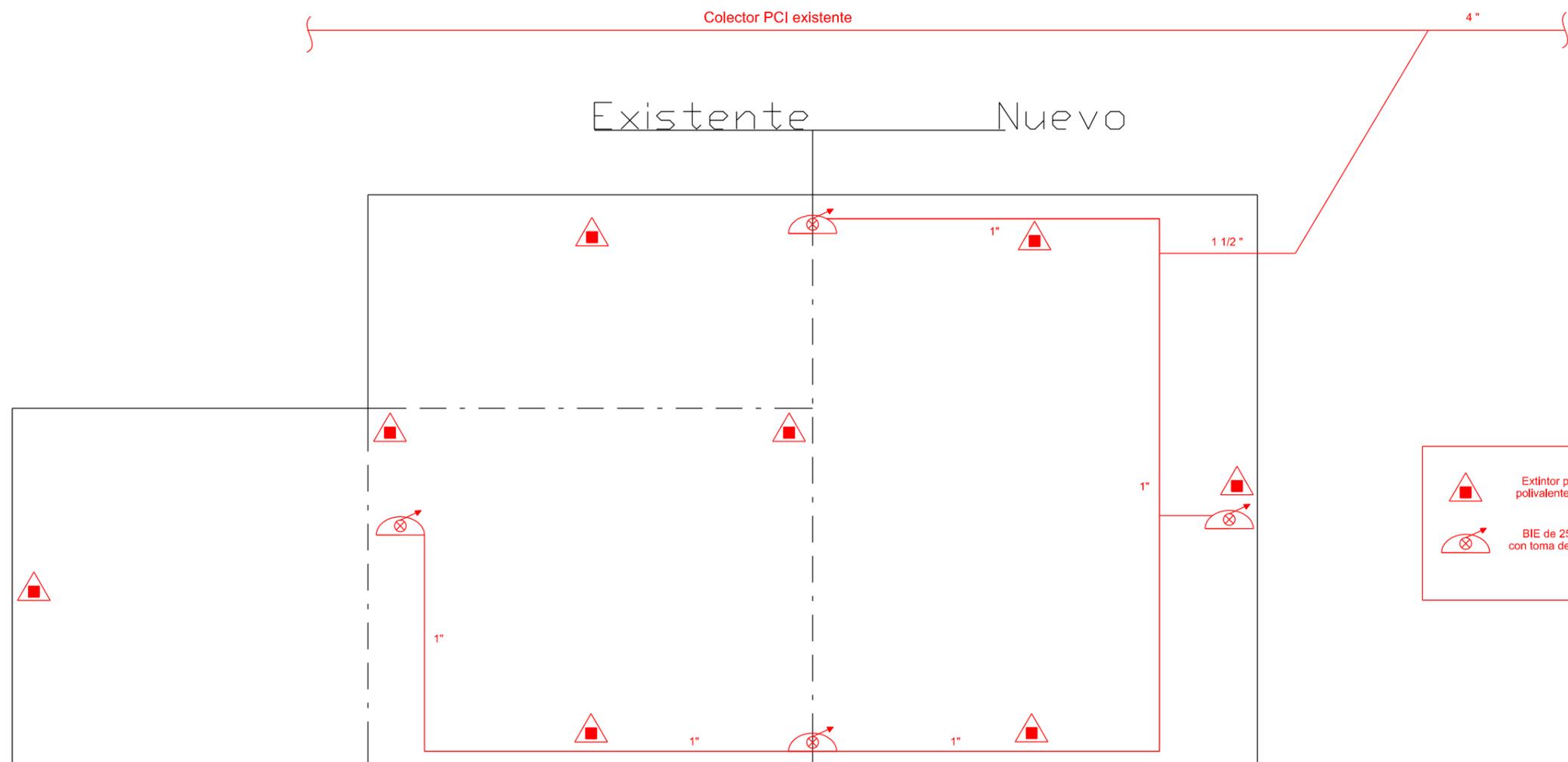
Existente

Nuevo



	Pulsador alarma
	Detector óptico-térmico

PROYECTO: Ampliación del almacén general de Refinería.			
Plano Nº 7	Escala 1:300	DESCRIPCIÓN: Detección de incendios.	
Total de Planos: 8		AUTOR: Enrique Moliner Gaitán	15/06/2016



	Extintor polvo polivalente ABC
	BIE de 25 mm con toma de 45 mm

PROYECTO: Ampliación del almacén general de Refinería.			
Plano Nº 8	Escala 1:300	DESCRIPCIÓN: Extinción de incendios.	
Total de Planos: 8		AUTOR: Enrique Moliner Gaitán	15/06/2016