

**UNIVERSITAT
JAUME·I**

UNIVERSITAT JAUME I

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**Diseño y cálculo sísmico de una
estructura metálica usada como
plataforma de trabajo en un experimento
en Física de Altas Energías**

TRABAJO FIN DE GRADO

Autor

Jorge Torner Beltrán

Director

Roberto Palma Guerrero

ÍNDICE

MEMORIA

1. Introducción	9
2. Objeto y alcance.....	10
3. Antecedentes	11
3.1. El acero en estructuras metálicas	11
3.1.1. Características mecánicas de los aceros	11
3.1.2. Tipos de aceros	12
3.1.3. Ventajas de las estructuras metálicas.....	12
3.2. Estructuras metálicas	13
3.2.1. Tipos de estructuras metálicas	14
3.3. Parámetros de diseño sismorresistente	14
3.3.1. Simetría.....	15
3.3.2. Altura	15
3.3.3. Extensión en planta.....	15
3.3.4. Distribución y concentración de masas	15
3.3.5. Densidad de estructura en planta	16
3.3.6. Rigidez.....	16
3.3.7. Esquinas.....	16
3.3.8. Resistencia perimétrica.....	16
4. Descripción del experimento	17
4.1. El experimento NEXT	17
4.2. Estructura del experimento	17
4.3. Cargas sobre la plataforma de trabajo	20
5. Descripción de la plataforma de trabajo	21
5.1. Descripción del laboratorio subterráneo de Canfranc (LSC)	21
5.2. Descripción de la plataforma de trabajo	23
6. Elementos de la estructura	26
6.1. Cimentación.....	26
6.1.1. Cimentaciones directas	26
6.1.2. Cimentaciones semiprofundas	26
6.1.3. Cimentaciones profundas	27
6.2. Placas de anclaje	27
6.3. Tipos de uniones	28
6.4. Pilares	29
6.4.1. Piezas simples.....	29
6.4.2. Piezas compuestas	29
6.5. Vigas.....	29
6.5.1. Vigas de alma llena. Perfil simple	29
6.5.2. Vigas de alma llena. Perfil múltiple	30
6.5.3. Vigas de alma llena. Perfil con refuerzos	30
6.5.4. Vigas de alma llena. Armadas	30
6.5.5. Vigas de alma llena. Aligerada.....	30
6.5.6. Vigas celosía.....	30
6.6. Pórticos metálicos.....	35
6.7. Pavimento de rejilla electrosoldada	35

6.7.1. Partes de una rejilla electrosoldada	36
6.7.2. Pletina portante	37
6.7.3. Pletinas separadoras.....	37
6.7.4. Marco perimetral	38
6.7.5. Malla.....	38
6.7.6. Malla de protección	39
6.7.7. Piezas de fijación para rejillas electrosoldadas.....	39
7. Normas y referencias	40
7.1. Código Técnico de la Edificación.....	40
7.2. Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales...40	
7.3. Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).....	40
7.4. Norma de Construcción Sismorresistente.....	41
8. Herramientas de cálculo	42
8.1. CYPE 3D	42
8.2. CYPECAD.....	43
8.3. Generador de precios	43
9. Dimensionado y análisis de soluciones	44
9.1. Proceso de dimensionado	44
9.1.1. Geometría y cargas de la plataforma de trabajo	44
9.1.2. Rejilla electrosoldada	46
9.1.3. Descripción de los nudos	47
9.1.4. Pandeos	47
9.1.5. Flecha.....	49
9.1.6. Descripción de las barras	49
9.1.7. Placas de anclaje.....	50
9.1.8. Cimentaciones	52
9.2. Acciones consideradas.....	54
9.2.1. Cargas permanentes	54
9.2.2. Sobrecarga de uso	54
9.2.3. Carga de sismo.....	56
10. Resultados finales.....	57
11. Cálculo de fuego.....	59
11.1. Características de los establecimientos industriales por su configuración y ubicación con relación a su entorno	59
11.2. Caracterización de los establecimientos industriales por su nivel de riesgo intrínseco	60
11.3. Estabilidad al fuego de los elementos constructivos portantes	63
11.4. Sistemas de protección pasiva de las estructuras metálicas contra incendios.....	63
12. Bibliografía.....	65

ANEXOS

CÁLCULOS ESTÁTICOS

1. Cálculo de las barras	69
1.1. Pilar.....	69
1.1.1. Pilar (1).....	69
1.1.2. Pilar (2).....	87
1.2. Viga celosía cordón superior luz 2,5m	104
1.3. Viga celosía cordón inferior luz 2,5m	121
1.4. Diagonal viga celosía luz 2,5m.....	134
1.5. Viga celosía cordón superior luz 2m	147
1.6. Viga celosía cordón inferior luz 2m	164
1.7. Diagonal viga celosía luz 2m.....	179
2. Cálculo de las placas de anclajes	193
2.1. Placa anclaje pilar esquinero	193
2.2. Placa anclaje pilar perimetral.....	194
2.3. Placa anclaje pilar central	195
3. Comprobación de la cimentación	196
3.1. Comprobación de la losa de hormigón	196
3.2. Comprobación de las vigas de cimentación.....	197

CÁLCULOS DINÁMICOS

1. Sismo	198
1.1. Datos generales de sismo.....	198
1.2. Espectro de cálculo	199
1.2.1. Espectro elástico de aceleraciones	199
1.2.2. Espectro de diseño de aceleraciones	200
1.3. Coeficientes de participación.....	201

PLIEGOS DE CONDICIONES

1. Disposiciones generales	207
2. Disposiciones facultativas.....	207
3. Disposiciones económicas	217
4. Pliego condiciones de los materiales	217

MEDICIONES Y PRESUPUESTO	225
---------------------------------------	------------

PLANOS.....	227
--------------------	------------

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

El experimento NEXT es un proyecto en Física de Altas Energías que pretende demostrar que los neutrinos son su propia antipartícula. Para ello se montará un equipo experimental que mida si no se emiten neutrinos en la desintegración beta simultánea de dos neutrones. Debido a la sensibilidad de la medida, se han buscado laboratorios en los que la contaminación gamma sea mínima y se ha optado por instalar el experimento en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc, en Huesca.

El experimento consiste de una vasija por la que circula xenon y en cuyo interior hay colocados distintos dispositivos de medida. La vasija está en el interior de un castillo formado por bloques de plomo, con el objetivo de aislar al experimento de radiación. Todos los equipos informáticos y técnicos, los sistemas de almacenamiento y los operarios se instalarán en una plataforma de trabajo que rodeará al castillo de plomo.

El objetivo de este trabajo es diseñar y calcular la plataforma de trabajo, que será una estructura metálica de dimensiones $11 \times 11 \times 1.27$ [m]. La plataforma consistirá de distintos perfiles metálicos sobre los que se colocará una rejilla de acero electrosoldada. Los cálculos desarrollados serán estáticos y dinámicos. Los primeros se usarán para garantizar el cumplimiento del Código Técnico de Edificación (CTE) y el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales. Los cálculos dinámicos se deben a que el laboratorio se encuentra en una zona sísmica y es necesario cumplir la Normativa Sísmica Española (NSCE-02). Para comprobar la cimentación del laboratorio se basará en la norma instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).

Se realizarán cálculos estáticos y dinámicos, ambos usando el software Cype 3D. Para los cálculos dinámicos, se realizará un análisis de respuesta espectral. Para ello se obtendrá la aceleración de cálculo, que depende de la aceleración básica del terreno proporcionada en la normativa sísmica, la ductilidad e importancia de la estructura y de las características geotécnicas del terreno. Como el terreno del laboratorio presenta una gran variabilidad, se realizarán varios cálculos dinámicos contemplando todos los posibles tipos de terreno que se contemplan en la normativa. Así, se obtendrá un cálculo sísmico fiable para todas las situaciones posibles.

El presente TFG se enmarca dentro de una aplicación práctica de la ingeniería que dará respuesta a un problema real. Este documento contiene memoria, presupuesto, planos y pliego de condiciones acompañados de los anexos necesarios.

2. OBJETO Y ALCANCE

El objetivo del presente Trabajo Final de Grado es diseñar y calcular una estructura metálica sismorresistente que será usada como plataforma de trabajo en un experimento de Física de Altas Energías que se desarrollará en el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC).

La estructura del experimento está compuesta de la plataforma de trabajo y de una estructura sismorresistente para soportar una vasija por la que circulará gas Xenón con el objetivo de demostrar experimentalmente la hipótesis de Majorana, a saber, el neutrino es su propia anti-partícula.

El diseño y cálculo de la estructura se enmarca dentro del proyecto NEXT, en el que participan universidades y centros de investigación de España, Italia, Portugal, Brasil y Estados Unidos y está financiado por el proyecto CONSOLIDER Canfranc Underground Physics del Ministerio de Ciencia e Innovación y que cuenta con un presupuesto de 8 millones de euros.

En el presente Trabajo Final de Grado sólo se diseñará y calculará la plataforma de trabajo cuya función será soportar todos los sistemas de adquisición de datos del experimento así como permitir la movilidad de los operarios. Debido a que la estructura se ubicará en una zona sísmica y teniendo en cuenta la normativa sismorresistente española NCSE-02, hay que desarrollar un cálculo sísmico para garantizar la seguridad en el caso de un terremoto.

Además, se pretende diseñar una plataforma muy rígida para evitar grandes desplazamientos en el caso de un terremoto, dada la sensibilidad de los aparatos de adquisición de datos y la importancia y coste económico del experimento. Por último se realiza un cálculo de protección contra el fuego de acuerdo con el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales.

Este Trabajo Final de Grado es una aplicación práctica de ingeniería que consta de diseño y cálculo estructural y, además, incluyendo cálculos dinámicos. La estructura diseñada, si es aprobada por el laboratorio, se construirá y su vida útil será de 10 años, que se trata del tiempo estimado de funcionamiento del experimento.

3. ANTECEDENTES

3.1 EL ACERO EN ESTRUCTURAS METÁLICAS

Los metales que se emplean en estructuras metálicas principalmente son los siguientes: el acero ordinario, el acero inoxidable y el aluminio. De los metales expuestos anteriormente el más empleado es el acero ordinario. Existen los siguientes tipos, ver *tabla 1*:

Designación	Espesor nominal t(mm)			Tensión de rotura f_u (n/mm ²)
	Tensión de límite elástico f_y (n/mm ²)			
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$16 < t \leq 63$	$3 \leq t \leq 100$
S235JR	235	225	215	360
S235J0				
S235J2				
S275JR	275	265	255	410
S275J0				
S275J2				
S355JR	355	345	335	470
S355J0				
S355J2				

Tabla 1: Características mecánicas mínimas de los aceros UNE EN 10025

De cada designación de tipo de acero se diferencian tres partes:

- La primera sigla es la letra “S” que hace referencia a acero (Steel), en inglés.
- El número hace referencia al límite elástico en MPa, en elementos cuyo espesor no debe de superar los 16 mm.
- Las últimas siglas hacen referencia con su sensibilidad a la rotura frágil y su soldabilidad, de modo que: JR se usa para construcciones ordinarias, J0 cuando se requiere alta soldabilidad y resistencia a la rotura frágil y J2 cuando se requieren exigencias especiales de resiliencia, resistencia a la rotura frágil y soldabilidad.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS ACEROS

Han de tenerse en cuenta dos valores importantes para diseñar piezas de acero, como son:

- Límite elástico, el cual es la tensión máxima a partir de la cual las deformaciones no son recuperables.
- Límite de rotura (también denominada resistencia a tracción) que se define como la carga unitaria máxima soportada por el acero en el ensayo de tracción.

Estos dos valores citados dependen del tipo de acero, pero hay otras características que son comunes para todos los aceros, ver *tabla 2*:

Característica	Valor
Módulo de elasticidad, E	210 GPa
Módulo de rigidez, G	81 GPa
Coefficiente de Poisson, ν	0,3
Coefficiente de dilatación térmica, α	$1,2 \cdot 10^{-5} (\text{°C})^{-1}$
Densidad, ρ	$7,850 \text{ kg/m}^3$

Tabla 2: Características comunes para todos los aceros

3.1.2 TIPOS DE ACEROS

Se contemplan un conjunto de tipos de acero que se utilizan en perfiles y chapas en estructuras de acero:

- Aceros laminados en caliente, son aceros no aleados que no tienen unas características especiales de resistencia mecánica ni resistencia a la corrosión, además tienen una microestructura normal.
- Aceros con características especiales:
 - Aceros normalizados: tienen alta soldabilidad y alta resiliencia.
 - Aceros de laminado termomecánico tienen alta soldabilidad y resiliencia.
 - Aceros que tienen una resistencia a la corrosión atmosférica.
 - Aceros templados y revenidos con un elevado límite elástico.
 - Aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.
- Aceros conformados en frío, son aquellos aceros cuyo proceso de fabricación consiste en un conformado en frío de modo que esto les da unas características específicas desde el punto de vista de la sección y la resistencia mecánica. Son de espesores reducidos.

3.1.3 VENTAJAS DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS

El uso del acero se ha multiplicado gracias al avance de la metalurgia y la soldadura eléctrica. La característica principal de las modernas estructuras de acero es la simplificación estructural.

Las estructuras metálicas presentan unas ventajas en comparación con las estructuras de hormigón, estas son:

- Con las estructuras de acero se puede obtener una simplificación estructural y de esbeltez y obtener naves con grandes luces.
- El acero es un material resistente de modo que se puede tener una sección transversal menor que en hormigón, por tanto ocupa menos volumen y es más ligero.

- Los elementos se pueden fabricar en taller y unir con gran facilidad diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y remaches.
- Facilidad de montaje y transporte debido a su ligereza.
- Rapidez de ejecución, ya que se elimina el tiempo de encofrados y fraguado del hormigón.
- El material es homogéneo y de calidad controlada (alta fiabilidad).
- Reutilización de forma que cuando termina la vida útil de la construcción, la estructura metálica puede ser desmontada y puede ser reaprovechada o reciclada fácilmente.
- Durabilidad, dado los nuevos sistemas de protección contra corrosión proporciona una vida casi ilimitada para las estructuras metálicas.
- La estructura metálica supone un peso reducido incrementando la seguridad en caso de sismo.

Existen también algunas desventajas de las estructuras metálicas como son:

- El principal inconveniente del acero es la corrosión de modo que corroe con facilidad para ello hay que proveerle un recubrimiento ya sea con un espesor de hormigón o un material dedicado para esto.
- Sensibilidad frente al fuego. Las características mecánicas de un acero disminuyen rápidamente con la temperatura, por lo que las estructuras metálicas deben protegerse del fuego.

En resumen, el uso de acero en las estructuras metálicas posee muchas ventajas, lo que lo ha convertido en uno de los materiales ideales hoy día.

3.2. ESTRUCTURAS METÁLICAS

Una estructura metálica es cualquier estructura (conjunto de partes unidas entre sí que forman un cuerpo destinado a soportar los efectos de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo) donde la mayoría de las partes que la forman son materiales metálicos, normalmente acero.

Para que una estructura funcione bien tiene que ser:

- Estable significa que la estructura no vuelca
- Resistente para que soporte esfuerzos sin romperse
- Rígida para que su forma no varíe si se le somete a esfuerzos

Una estructura metálica está formada por:

- Estructura metálica principal: La estructura metálica principal está formada por todos aquellos elementos que estabilizan y transfieren las cargas a los cimientos.

Esta estructura metálica principal es la que asegura que no se vuelca, que sea resistente y que no se deforme.

- Estructura metálica secundaria: La estructura metálica secundaria es la subestructura de los cerramientos (fachada y cubierta) y se coloca sobre la estructura metálica principal, puede ser metálica o de hormigón.

3.2.1 TIPOS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

Partiendo de la base que las estructuras metálicas son artificiales, ya que las ha inventado el ser humano se puede entonces destacar qué tipos de estructuras hay, y son los siguientes:

- Estructuras abovedadas: estas estructuras son todas aquellas en las que se emplean bóvedas, cúpulas y arcos para repartir y equilibrar el peso de la estructura.

Un ejemplo de este tipo de estructura combinado con el tipo de estructura geodésica es el museo Guggenheim de Bilbao.

- Estructuras entramadas: este tipo de estructuras son las más comunes, se observan con mucha frecuencia en las ciudades. Emplean gran cantidad de elementos horizontales (vigas, columnas, etc.) y verticales (pilares) para repartir y equilibrar el peso de la estructura.

Estas estructuras son más ligeras y se pueden conseguir edificios de gran altura.

Un ejemplo de este tipo de estructura es el Empire State de Nueva York.

- Estructuras trianguladas: las estructuras trianguladas se caracterizan por disponer sus elementos de forma triangular, suelen ser muy ligeras y económicas.

El uso más frecuente de este tipo de estructuras metálicas es en puentes y naves industriales. En estos casos hay dos formas que son las más utilizadas, la cercha y la celosía.

Un claro ejemplo de este tipo de estructura es la Torre Eiffel de París.

- Estructuras colgantes: las estructuras colgantes o colgadas son aquellas que utilizan cables o barras (tirantes) que van unidos a soportes muy resistentes. La misión de los tirantes es la de estabilizar la estructura.

Un ejemplo de este tipo de estructuras es el puente Golden Gate de San Francisco.

- Estructuras laminares: este tipo de estructuras tienen la característica que están formadas por láminas resistentes que están conectas entre si y sin alguna de ellas la estructura se volvería inestable.

Este tipo de estructura metálica puede observarse en las carrocerías y fuselajes de coches y aviones

- Estructura geodésicas: son estructuras poco comunes que están formadas por hexágonos o pentágonos y suelen ser muy resistentes y ligeras. Son estructuras que suelen tener forma de esfera o cilindro.

3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO SISMORRESISTENTE

Una estructura ubicada en un área sísmica difiere solo que en su análisis considera la acción de las cargas que genera el sismo. Los movimientos del terreno provocan arrastre del edificio, que se mueve como un péndulo invertido. Los movimientos de la estructura son complejos y dependen del tamaño, las cargas, características del terreno, etc.

Algunas características de una estructura diseñada frente a acciones sísmicas son:

3.3.1 SIMETRÍA

La simetría es una propiedad geométrica de la configuración del edificio. Un edificio es simétrico respecto a dos ejes en planta si su geometría es idéntica en cualquier de los lados de los ejes. La simetría puede existir respecto a un eje solamente.

La falta de simetría tiende a producir excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez, y por tanto provocara torsión en planta. A medida que más simétrico es el edificio, disminuyen el riesgo de concentración de esfuerzos, el momento torsor en planta y el comportamiento de la estructura es más predecible. La asimetría tiende a concentrar esfuerzos.

Existe simetría estructural si el centro de masa y el centro de rigidez coinciden en la planta.

3.3.2 ALTURA

La altura de un edificio influye directamente en el periodo de oscilación, si aumenta la altura aumenta el periodo.

Los registros de terremotos indican que los sismos concentran su energía y mayores aceleraciones en periodos cercanos a 0,5 segundo.

3.3.3 EXTENSIÓN EN PLANTA

Cuando una planta es muy grande, aunque sea simétrica el edificio no responderá como una unidad.

Al calcular las fuerzas sísmicas, se supone que la estructura vibra como un sistema en el que todos los puntos de una planta en el mismo nivel tienen el mismo desplazamiento, la misma velocidad y la misma aceleración, con idéntica amplitud. Pero la propagación de las ondas sísmicas no es instantánea y su velocidad de propagación depende de la naturaleza del terreno y de las características de la estructura, por ello las bases del edificio a todo lo largo de este vibran asincrónicamente con diferentes aceleraciones, provocando esfuerzos longitudinales de tracción, compresión y desplazamientos longitudinales.

Los esfuerzos causados por variaciones de temperatura, preexistentes o provocadas por sismos son mayores en edificios con grandes dimensiones en planta.

3.3.4 DISTRIBUCIÓN Y CONCENTRACIÓN DE MASAS

La distribución de las masas debe ser lo más uniforme posible, en cada planta como en altura. Es conveniente que la variación de las masas piso a piso acompañe a la variación de la rigidez. Si la variación masa-rigidez varia bruscamente de un piso a otro se producen concentraciones de esfuerzos.

Se debe evitar la presencia de masas superfluas, tales como rellenos excesivos en terrazas, etc.

3.3.5 DENSIDAD DE ESTRUCTURA EN PLANTA

Cuando se tenga la mayor presencia de estructura en planta baja, el edificio está mejor preparado para soportar la fuerza cortante de planta baja, la acumulada de los pisos superiores y las cargas gravitatorias acumuladas. La configuración sísmica más eficiente es la que tiene la mayor cantidad de elementos verticales en la base, que es donde más se necesitan.

3.3.6 RIGIDEZ

La rigidez mide la capacidad que un elemento estructural tiene para oponerse a ser deformado. Un cuerpo es más rígido cuanto mayor sea la carga que es necesario aplicar para alcanzar una deformación dada. En las estructuras modernas es común adoptar soluciones con pórticos, que se construyen con vigas y columnas unidas en sus nudos, constituyendo un elemento con continuidad estructural.

La unión entre diferentes componentes de una estructura tiene una influencia decisiva en su rigidez, o lo que es lo mismo en su deformabilidad.

3.3.7 ESQUINAS

Las esquinas de los edificios resistentes plantean problemas especiales. Las esquinas exteriores pueden sufrir concentraciones de esfuerzos si el movimiento sísmico tiene dirección diagonal respecto a la planta. La esquina interior es una característica muy común de la configuración general de un edificio.

Estas formas plantean problemas: tienden a producir variaciones de rigidez y por tanto causan una concentración de esfuerzos en la esquina entrante y otro problema es que al no existir coincidencia entre el centro de masas y el centro de rigidez, las fuerzas del sismo provocan una rotación que distorsiona el edificio.

3.3.8 RESISTENCIA PERIMETRAL

Para resistir los efectos de la torsión en planta es conveniente tener elementos resistentes en el perímetro del edificio, ubicar elementos resistentes al sismo en las fachadas del edificio.

Cuanto más alejado del centro de rigidez de la planta se ubique un elemento, mayor será el momento resistente que pueda generar. Para este efecto es más efectivo colocar una planta de tipo circular, aunque otras formas funcionan satisfactoriamente. Siempre es conveniente colocar elementos resistentes al sismo en el perímetro como: tabiques, pórticos, pórticos con diagonales con capacidad para resistir corte directo y por torsión.

4. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

4.1 EL EXPERIMENTO NEXT

El proyecto NEXT (de sus siglas en inglés Neutrino Experiment with a Xenon Tpc chamber) es un experimento de Física de Altas Energías que pretende verificar experimentalmente una reacción doble beta en ^{136}Xe , ver *figura 1*. Esta reacción es una hipotética transición nuclear en la que dos neutrones producen dos partículas beta sin la emisión de neutrinos.

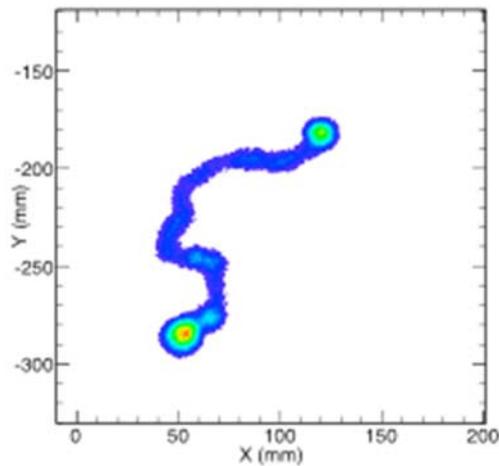


Figura 1: Simulación de una reacción doble beta en ^{136}Xe .

Si se logra verificar experimentalmente esta reacción hipótesis se verificaría que los neutrinos son partículas de Majorana, es decir, partículas neutras idénticas a sus antipartículas, por lo que el número total de leptones no sería una cantidad conservativa en la naturaleza.

4.2 ESTRUCTURA DEL EXPERIMENTO

Desde un punto de vista de infraestructura, el experimento está compuesto de una vasija de alta presión, un pedestal sobre el que se apoyará la vasija, un castillo de plomo que cubrirá la vasija y una plataforma de trabajo, ver *figura 2*.

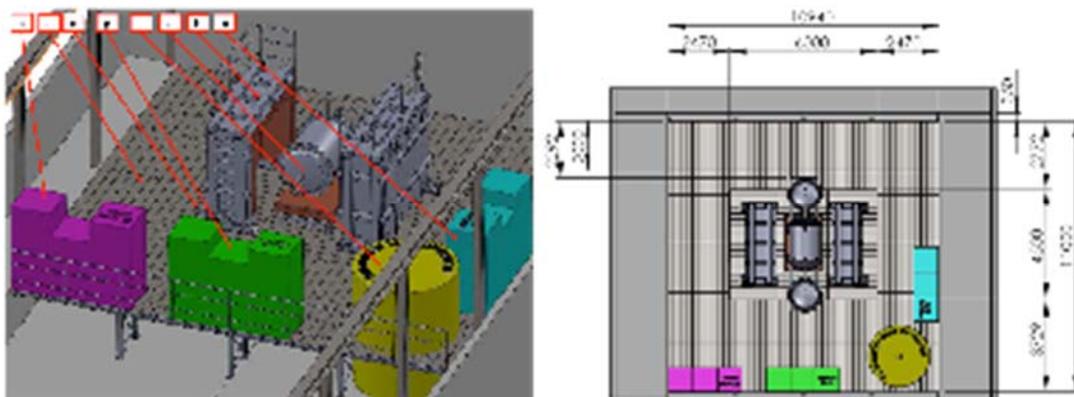


Figura 2: Componentes de la estructura del proyecto NEXT.

A continuación, se describen cada uno de los componentes de la estructura

1. La vasija de alta presión estará rellena de gas Xe y en su interior estará situado el detector, ver *figura 3*.

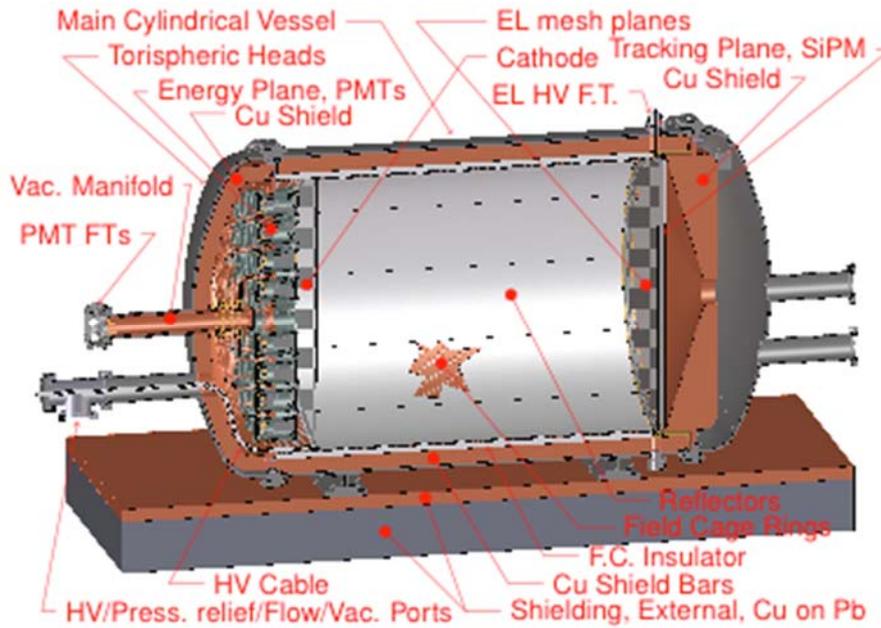


Figura 3: Vasija de alta presión donde se situarán los detectores.

Los detectores consisten de fotosensores que permitirán observar el trazado de las partículas en el interior del gas Xe, ver *figura 4*.

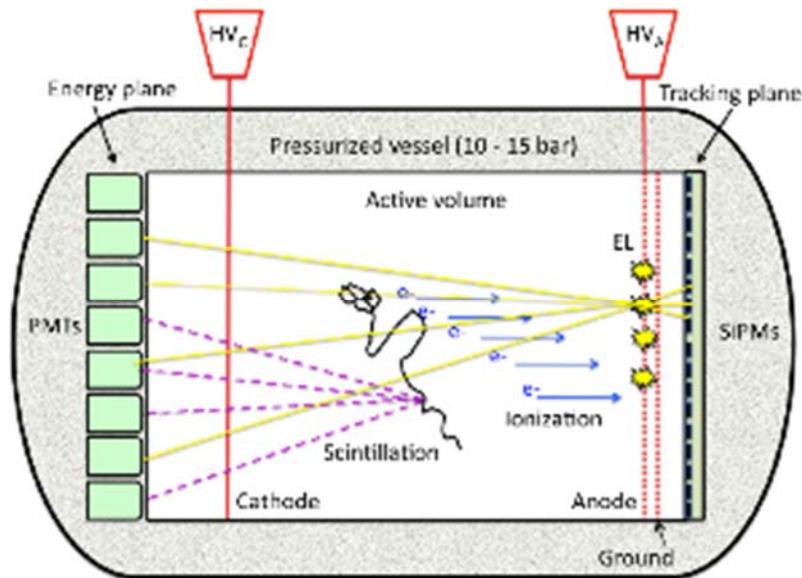


Figura 4: Esquema del diseño de medida en el interior de la vasija.

2. El pedestal consistirá en una estructura muy rígida que llevará incorporados elementos antisísmicos (denominados aisladores de base) con el objetivo de minimizar la máxima aceleración que se pueda transferir al detector, en el caso de un terremoto. En la *figura 5* se observa un prediseño del pedestal.

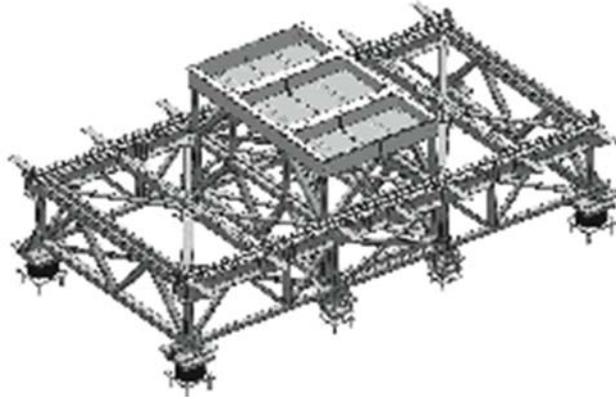


Figura 5: Esquema del diseño estructural del pedestal.

3. La misión del castillo de plomo es aislar a la vasija, y por tanto al detector, de los rayos gamma presentes en el universo. Para ello, se diseñará una estructura metálica capaz de soportar el peso de los bloques de plomo y sobre ella se construirá un “castillo” a modo de estructura de fábrica de ladrillo. Además, este castillo tendrá que poder abrirse para que los operarios puedan acceder a la vasija para mantenimiento, etc. En la *figura 6* se observa un esquema del castillo abierto. Hay que recordar que el modo de medición es con el castillo cerrado, para evitar el ruido provocado por los rayos gamma, como se ha comentado.

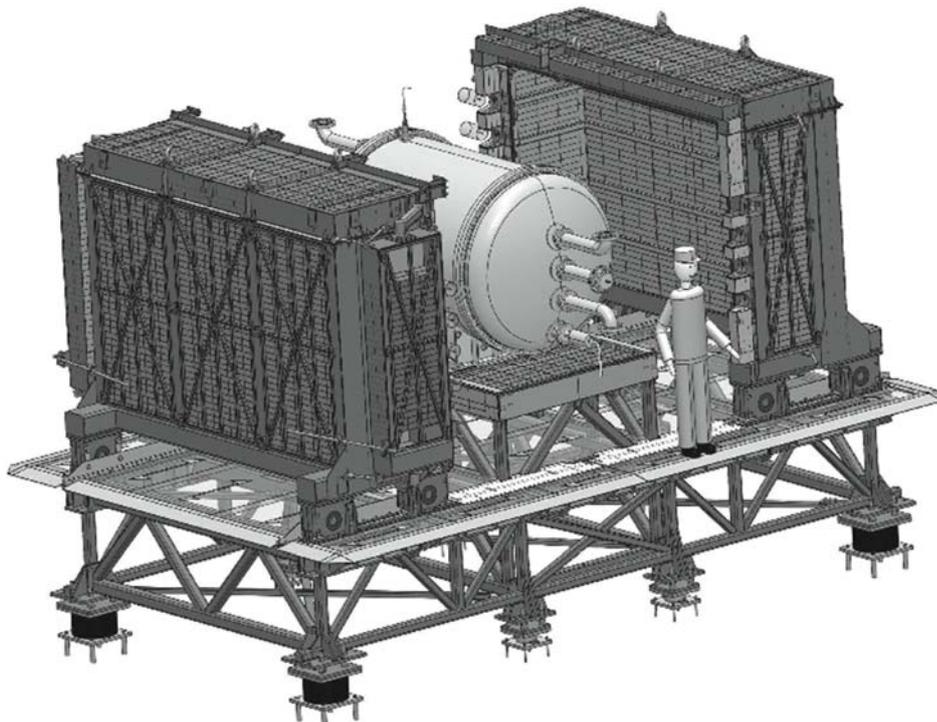


Figura 6: Esquema del castillo de plomo.

4. Finalmente, la plataforma de trabajo servirá para colocar todos los aparatos de adquisición de datos y para permitir la movilidad de los operarios. Esta plataforma deberá permitir el escape de fluidos hacia el fondo, por ese motivo el experimento está situado en una piscina. Además, desde un punto de vista mecánico, la estructura ha de ser muy rígida para evitar grandes desplazamientos en el caso de un terremoto, ya que sobre esta plataforma están situados aparatos de medida de gran sensibilidad.

4.3 CARGAS SOBRE LA PLATAFORMA DE TRABAJO

Como se observa en la *figura 2*, sobre la plataforma de trabajo estarán ubicados un sistema de depuración del gas Xe, un tanque para evacuar el gas Xe en caso de emergencia, el sistema de adquisición de datos y un armario que servirá de sala limpia y para almacenar otros dispositivos. Además, obviamente, habrá que tener en cuenta la carga de sobreuso debida a los operarios que trabajarán sobre la plataforma.

5. DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA DE TRABAJO

5.1 DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO SUBTERRÁNEO DE CANFRANC (LSC)

Las galerías para experimentos del Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC) en el municipio de Canfranc, provincia de Huesca, están excavadas en la roca a 850 metros de profundidad, debajo de la Montaña del Tobazo en la vertiente española de los Pirineos Aragoneses. La montaña filtra la radiación cósmica creando el “silencio cósmico” necesario para la investigación de sucesos naturales particulares como son la colisión con un átomo de neutrinos provenientes del cosmos o con partícula de la invisible “materia oscura”. Ellas forman el 85% de la masa del Universo y están alrededor nuestra pero no sabemos lo que son.

El área total del LSC es de unos 1250 m² que corresponde a un volumen de alrededor de 10000 m³ y consta de dos salas experimentales (sala A 40x15x12 m³ y sala B 15x10x7 m³) en las cuales se distribuyen los experimentos, además de oficinas, una sala blanca, un taller mecánico y una sala de almacenamiento de gases. En la *figura 7* y *8* se observa un plano del LSC y su localización.

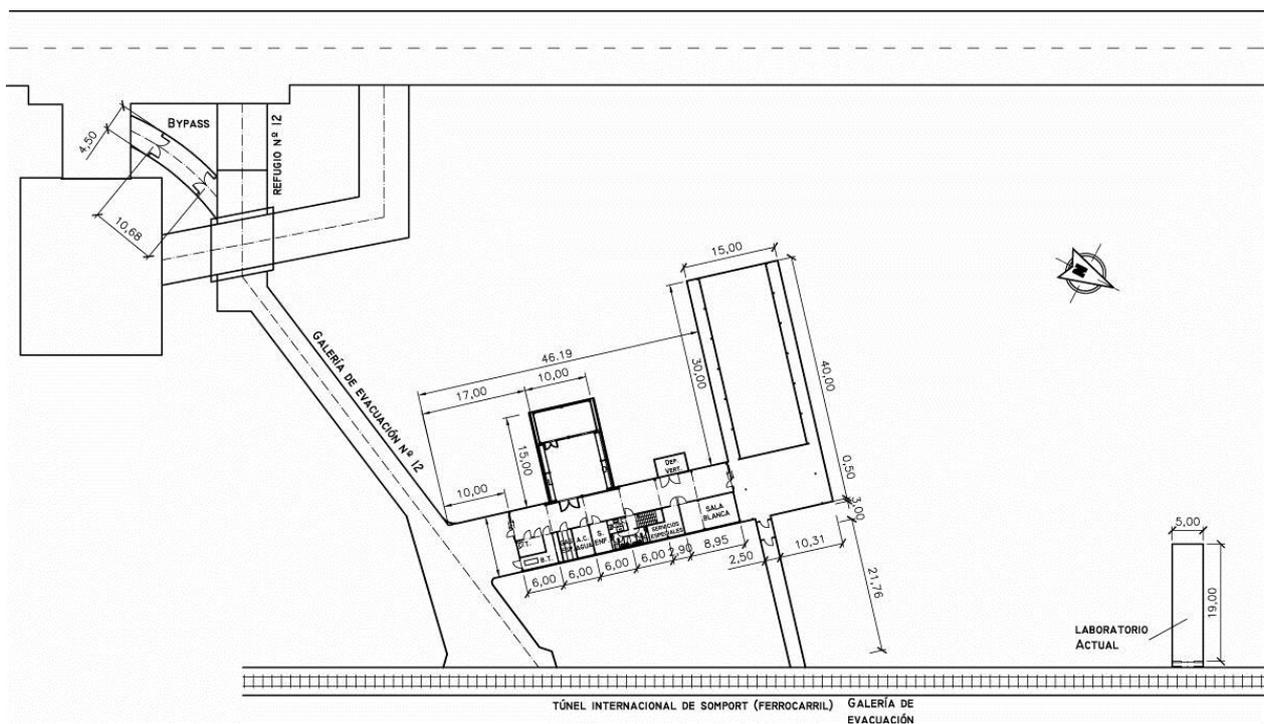


Figura 7: Plano del Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC)

El edificio sede del LSC cuenta con 16 despachos para los usuarios científicos, 9 despachos para el personal del LSC y 4 laboratorios especializados, además de un taller de mecánica, un almacén, salas de conferencias y exposiciones y dos departamentos.

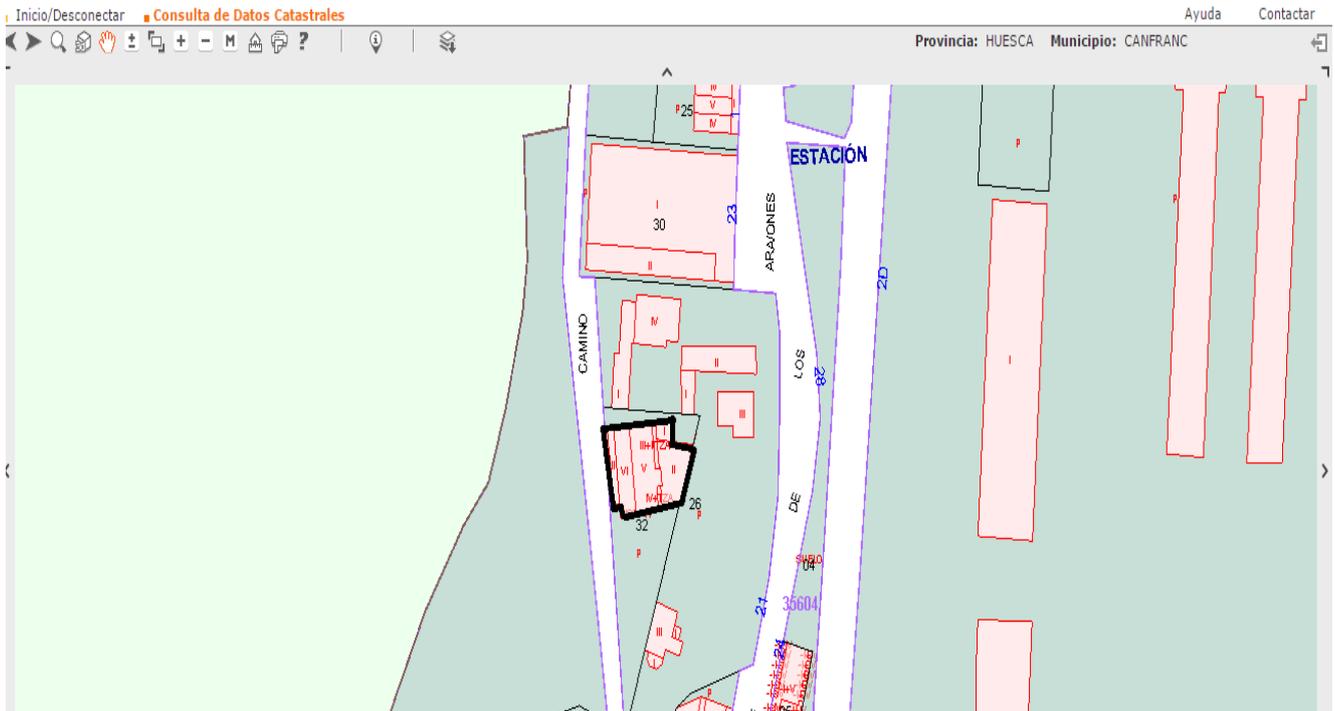


Figura 8: Localización del Laboratorio Subterráneo de Canfranc según catastro

En cuanto al acceso del laboratorio puede realizarse a través de la nacional 330, ver figura 9. Tomando la nacional 330 en dirección Francia/Canfranc-Estación hasta llegar al desvío de la avenida de los Arañones/N-330a, una vez ya se está en esta vía, continuar por dicha vía hasta encontrar la calle de las Cortes de Aragón. Para finalizar la Calle Cortes de Aragón toma el nombre de camino de los Ayerbes, seguir por este camino hasta encontrar la señalización correspondiente de LSC.

Las vías de comunicación para acceder al laboratorio son muy buenas ya que se encuentra muy cerca de la N-330, una de las carreteras más importantes de España, que comunica España con Francia, extendiéndose desde Alicante hasta Francia.

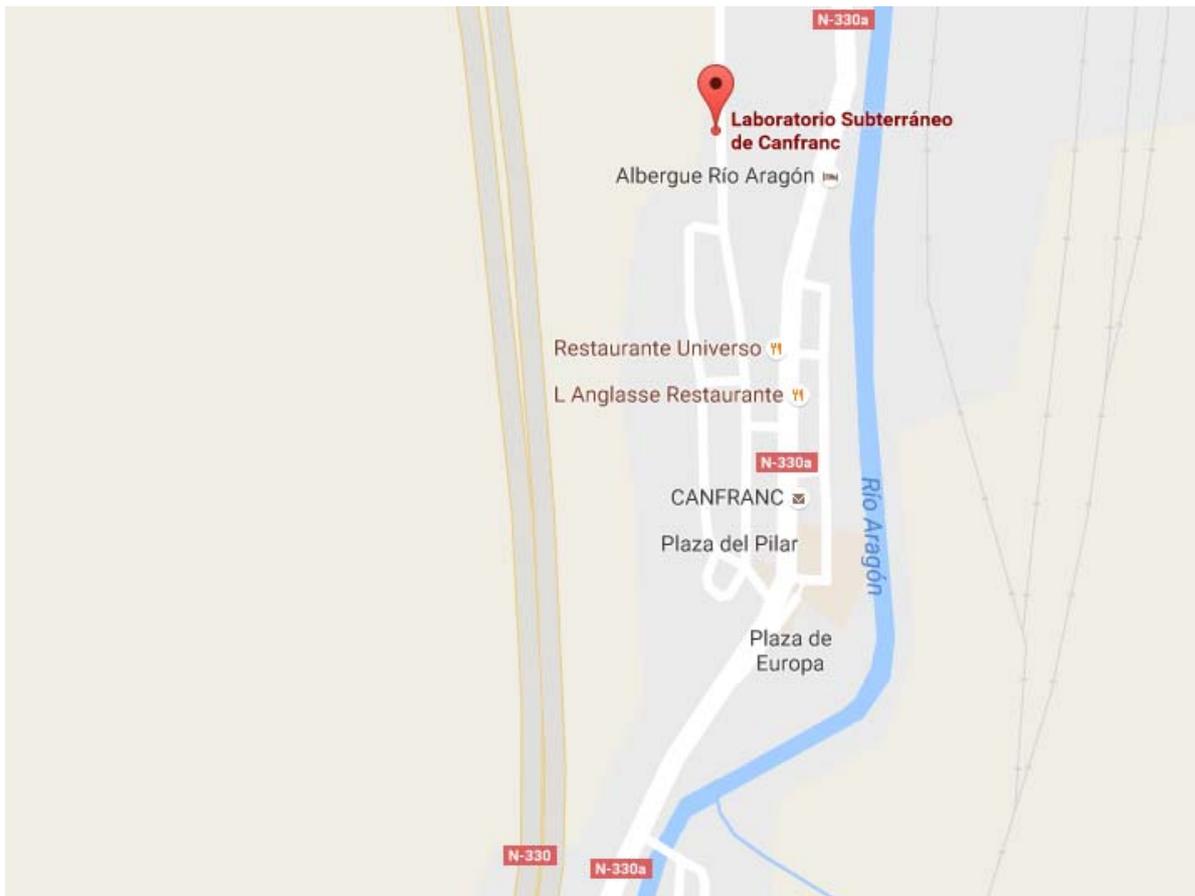


Figura 9: Acceso al Laboratorio Subterráneo de Canfranc

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLATAFORMA DE TRABAJO

La plataforma de trabajo del presente proyecto estará instalada en uno de las salas experimentales del LSC (concretamente en la sala A) comentadas en el punto anterior.

La estructura que se va a calcular tiene unas dimensiones de 11m de largo por 11m de ancho y 1.27m de altura. Es una estructura reticular a base de celosías tipo Warren, ver *figura 10*.

Esta estructura tiene un hueco central de 6m de largo por 4m de ancho, donde se colocara una subestructura para colocar el experimento a realizar.

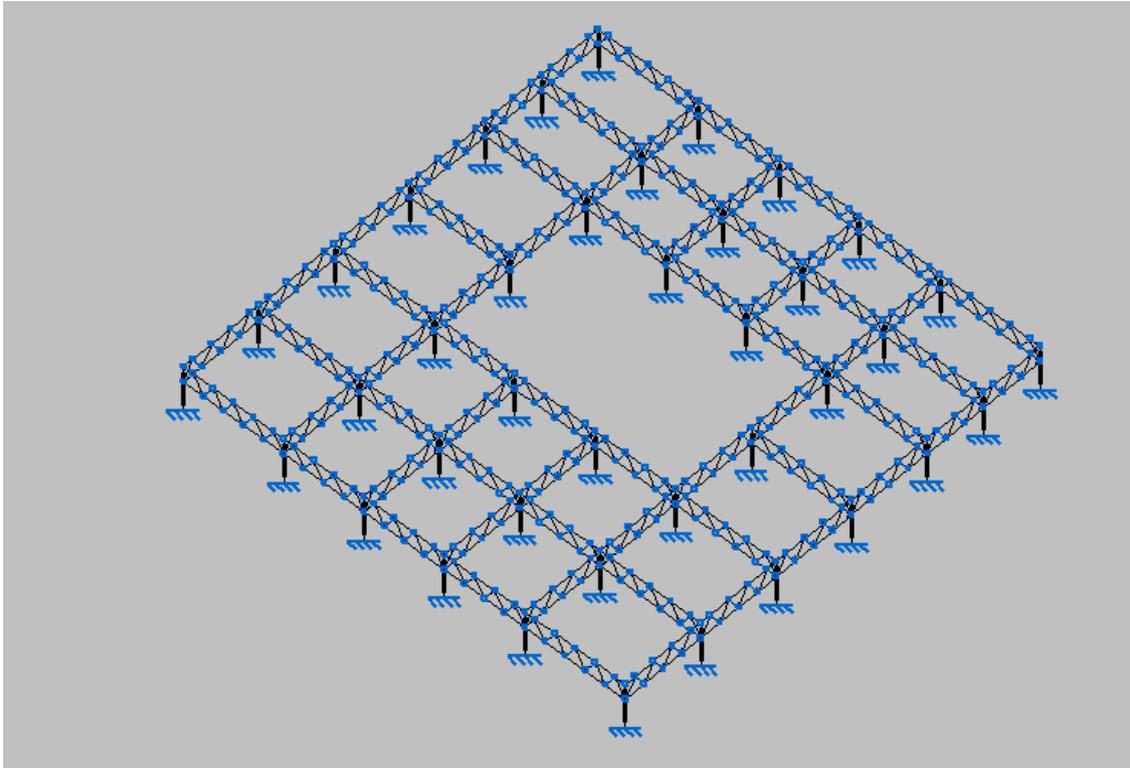


Figura 10: Vista principal de la plataforma de trabajo

La plataforma estará colocada dentro de un hueco a modo de piscina, ver *figura 11*, en el que existe una losa hormigón en el suelo.

Esta losa de hormigón es de espesor 40 cm y a su alrededor tiene unas vigas de cimentación de las siguientes dimensiones: anchura 30 cm y espesor 40 cm. Alrededor de la estructura hay unos muros de hormigón (de la misma altura que la estructura) de 30 cm de espesor y tras ellos el relleno que tienen los muros es hormigón.

Como la plataforma de trabajo se instalará después de que se haya realizado la construcción de los muros y el relleno, no se considerara el empuje que podría producir éstos sobre la estructura. De esta forma la estructura se une a la losa de cimentación a través de las placas de anclaje.

Así que, en el proyecto se comprobara si la losa de cimentación, ya construida, se comporta adecuadamente a la unión con la estructura calculada, de modo que resista correctamente. Para el cálculo de la estructura se ha considerado que los pilares se encuentran empotrados en sus bases.



Figura 11: Sala de experimento donde se colocara la plataforma de trabajo

El suelo para que puedan acceder y trabajar los científicos se ha decidido colocar una rejilla electrosoldada (tramex), antideslizante para prevenir posibles resbalones por la caída de algún líquido, aportando mayores medidas de seguridad ver *figura 12*.



Figura 12: Rejilla electrosoldada que sirve para el paso de personas

6. ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA

A continuación se exponen varios de los elementos que forman las estructuras industriales:

6.1 CIMENTACIÓN

La cimentación es el conjunto de elementos estructurales cuya misión es la de transmitir sus cargas y elementos apoyados en ella al suelo, distribuyéndolas de forma que no se superen su presión admisible ni produzca cargas zonales. Debido a que la resistencia del suelo es, en general, menor que la de los pilares que soporta, entonces el área de contacto entre la cimentación y el suelo debe ser más grande que los elementos que soporta.

Por tanto, para realizar una correcta cimentación habrá que tener en cuenta las características geotécnicas del suelo y además dimensionar el propio cimiento como elemento de hormigón, de modo que sea lo bastante resistente.

Algunas consideraciones a tener en cuenta son: la cimentación deberá estar a una profundidad tal que se encuentre libre del peligro de las heladas y evitar suelos con arcillas expansivas porque varían mucho su volumen según su contenido de humedad.

A la hora de elegir qué tipo de cimentación se va a colocar se debe tener en cuenta varias características mecánicas del terreno como su cohesión, su ángulo de rozamiento interno, etc. Siempre que se pueda es mejor utilizar cimentaciones superficiales porque se ejecutan más fácilmente y son menos costosas económicamente.

Se puede distinguir tres tipos de cimentaciones: directas (superficiales), semiprofundas y profundas.

6.1.1 CIMENTACIONES DIRECTAS

Las cimentaciones directas son aquellas que se apoyan en las capas superficiales o poco profundas del suelo.

Las cimentaciones directas se clasifican en:

- Cimentaciones ciclópeas: en este tipo de cimentación se va añadiendo el hormigón a la vez que se añaden piedras más o menos grandes para economizar el material.
- Zapatas: Es un tipo de cimentación formado por un ancho prisma de hormigón situado bajo de los pilares de la estructura para transmitir las tensiones al terreno. Existen diferentes tipos de zapatas como: zapatas aisladas, zapatas corridas, zapatas combinadas.
- Losas de cimentación: es una placa flotante apoyada directamente sobre el terreno. La losa puede ser maciza, aligerada o tener refuerzos para mejorar la resistencia a punzonamiento.

6.1.2 CIMENTACIONES SEMIPROFUNDAS

En este tipo de cimentación se puede encontrar los pozos de cimentación, arcos de ladrillo y micropilotes entre otros.

6.1.3 CIMENTACIONES PROFUNDAS

Se basan en el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación para soportar las cargas aplicadas. Por eso deben ser más profundas, para poder proveer sobre una gran área sobre la que distribuir un esfuerzo suficientemente grande para soportar la carga.

Algunos de los elementos más utilizados en cimentación profunda son:

- Pilotes: son elementos de cimentación esbeltos que se hincan(o construyen) en una cavidad previamente abierta en el terreno.
- Pantallas: es necesario anclar el muro al terreno, se pueden encontrar pantallas isostáticas e hiperestáticas.

6.2 PLACAS DE ANCLAJE

La unión de la base de un pilar a la cimentación se materializa mediante las placas de anclaje, de modo que los pilares metálicos transmiten a través de las placas de anclaje su carga al macizo de cimentación para que ésta pueda resistirla.

Por tanto, las placas de anclaje transmiten un esfuerzo entre dos materiales con características y comportamientos diferentes, como son el acero del perfil metálico y los cimientos que suele ser hormigón.

La base más sencilla se forma soldando directamente el soporte (pilar) sobre la placa base, sin cartelas de rigidez y con cuatro pernos.

Una placa de anclaje está formada por tres partes:

- Placa base: la placa base es una placa de acero.
- Cartelas de rigidez: son unas chapas metálicas que se sueldan entre el pilar metálico y la placa base para aumentar la rigidez de la placa base.
- Pernos: Son los elementos de unión entre el cimiento y la placa base. En pilares empotrados se colocan al menos 4 pernos y en pilares apoyados (articulación) al menos se colocan 2 pernos.

Se distinguen tres partes en el perno:

- Zona de anclaje: Es la parte solidaria al terreno en profundidad encargada de transferir los esfuerzos al mismo.
- Zona libre: Es la parte del perno que se encuentra independizado del terreno que le rodea, de forma que pueda deformarse con total libertad al ponerse en tensión.
- Cabeza: Es la zona de unión del perno a la placa de apoyo.

Salvo en el caso excepcional de que se el pie del soporte sea articulado, los soportes se consideran empotrados en la cimentación, lo que hace que la base deba prepararse para resistir los siguientes esfuerzos: axil, momento flector, cortante y momento torsor.

6.3 TIPOS DE UNIONES

Tan importante como diseñar los elementos individuales para que resistan los efectos producidos por las cargas máximas esperadas durante la vida útil, es que esos efectos puedan ser transmitidos desde el punto de aplicación de las cargas hasta la cimentación de la estructura. Por lo tanto, las uniones juegan un papel clave en el buen comportamiento de la obra.

En el pasado se usaron frecuentemente los remaches, pero debido a sus inconvenientes en el montaje y al desarrollo de tornillos de alta resistencia, han sido reemplazados por estos últimos.

Actualmente para unir dos o más perfiles metálicos se usa principalmente tornillos o soldadura.

Las uniones atornilladas constan de: un vástago roscado, arandela (para permitir que haya una mayor área de contacto entre el tornillo y las piezas a unir) y tuercas (para impedir la reparación de las piezas a unir), adicionalmente se puede colocar arandelas de seguridad para evitar que las tuercas se afloje.

La longitud del tornillo ha de ser mayor que el espesor de las piezas a unir más una longitud mínima.

La unión soldada se consigue realizando la soldadura entre los elementos a unir. La soldadura es un proceso en el que se unen partes metálicas mediante el calentamiento de sus superficies para llevarlas a un estado plástico, lo que permite que las partes fluyan y se unan con o sin la adición de otro material fundido.

En las soldaduras propias de las estructuras metálicas el calentamiento se produce por la acción de un arco eléctrico inducido entre las superficies de las piezas metálicas a unir y un electrodo que se aproxima a la junta y que al fundirse proporciona el metal de aporte. En la operación debe protegerse de la oxidación al acero en estado fluido.

Los procesos principales son los siguientes: El sistema de soldadura por fusión, en que el calor proporcionado funde los extremos de las piezas y al solidificarse se produce la unión.

Tipos de soldadura por fusión:

- Soldadura autógena: en la soldadura autógena el calor lo proporciona una llama producida por la combustión de una mezcla de acetileno y oxígeno, se usa menos porque el efecto de la temperatura provoca unas tensiones residuales muy elevadas.
- Soldadura por arco eléctrico: la soldadura por arco se basa en que si a dos conductores en contacto se les somete a una diferencia de potencial, establecemos entre ambos una corriente. Los procedimientos de soldadura en arco pueden agruparse en tres: con electrodos de carbono, con electrodos de tungsteno en atmosfera de hidrogeno y soldadura con electrodos metálico.

6.4 PILARES

Los pilares son elementos verticales que soportan cargas de compresión. Si además de la carga axial están sometidos a momentos de flexión considerables, se llaman vigas-columna o excéntricas. Los pilares se encargan de soportar el peso de toda la estructura y transmiten las cargas verticales al terreno a través de los cimientos y las bases.

Transmitir las cargas soportadas de forma simple y por el camino más corto posible a la cimentación es un buen objetivo a tener presente en el diseño estructural

Algunos parámetros a tener en cuenta a la hora de dimensionar un pilar son: el tipo de acero a utilizar, la carga que va a recibir el pilar, la longitud del pilar (para ver la influencia que tiene el pandeo).

Los pilares pueden clasificarse por su sección en:

6.4.1 PIEZAS SIMPLES

Los pilares pueden estar formados por un solo perfil o por varios perfiles unidos mediante tornillos o soldadura. Los pilares formados por un solo perfil más común son: HEA, HEB, IPE, IPN, perfiles tubulares de sección hueca, circular y rectangular.

6.4.2 PIEZAS COMPUESTAS

Los perfiles compuestos son las piezas constituidas por dos o más cordones longitudinales enlazados entre sí.

Cada cordón tendrá la constitución de una pieza simple. Los elementos de enlace pueden ser:

- Presillas, chapas o perfiles, resistentes a flexión y con unión rígida a los cordones.
- Celosía es decir una red triangular, formada por diagonales o montantes y diagonales.

6.5 VIGAS

Son elementos estructurales que normalmente se colocan en posición horizontal, que se apoyan sobre los pilares, destinados a soportar cargas. Las vigas son barras que trabajan a flexión. Frente a acciones determinadas sus fibras inferiores están sometidas a tracción, mientras que las superiores a compresión.

Las vigas reciben las cargas verticales y las transmiten a los pilares o apoyos.

Los esfuerzos axiales, al actuar a una distancia de la fibra neutra de la barra, provocan un esfuerzo de momento flector.

Dependiendo de la constitución las vigas de acero se pueden clasificar en:

6.5.1 VIGAS DE ALMA LLENA. PERFIL SIMPLE

En este tipo de vigas, los perfiles más usados son: IPN, IPE, HE. El uso perfiles IPE resulta ser el más económico, tiene un mayor rendimiento mecánico y en las uniones proporciona un espesor uniforme de las alas.

6.5.2 VIGAS DE ALMA LLENA. PERFIL MÚLTIPLE

Este tipo de vigas están formadas por dos o más perfiles adosados, unidos a través de elementos de unión como presillas, pasantes, tornillos, etc. De modo que los perfiles más los elementos de unión formen un perfil solidario.

Los medios de unión más habitual son:

- Perfiles UPN, IPN, HE con soldaduras o tornillos.
- Pletinas o presillas soldadas o atornilladas

6.5.3 VIGAS DE ALMA LLENA. PERFIL CON REFUERZOS

Son vigas que se les colocan chapas o pletinas que hacen la función de refuerzo. El uso de refuerzos en las estructuras metálicas es beneficioso para conseguir ahorrar en material.

El uso de refuerzos es básico si se quiere conseguir módulos resistentes mayores que los que existen en el mercado o cuando exista limitación de canto.

En general el refuerzo más económico se hace colocando dos platinas simétricas en ambas alas. Pero dependerá de muchos factores el cómo reforzar la viga ya sea si el refuerzo se realiza en obra, si se refuerza por razones de flechas, etc.

6.5.4 VIGAS DE ALMA LLENA. ARMADAS

Este tipo de vigas se obtiene siempre por corte y soldadura realizados en taller. EL límite depende del tamaño a trasladar en camiones. Estas vigas requieren mayor mano de obra que encarece finalmente la construcción.

Cabe destacar que los perfiles laminados pese a tener un mayor peso siempre son más económicos que las vigas armadas, y esto es debido al menor coste de fabricación.

6.5.5 VIGAS DE ALMA ALIGERADA

Las vigas aligeradas, alveolares o también conocidas como vigas Boyd, son perfiles obtenidos por mecanización de perfiles estándar.

Resulta económico utilizar este tipo de perfiles cuando se tienen luces grandes y cargas moderadas. Además, este tipo de viga es más estética y permite el paso de instalaciones a través de los alveolos (suelen ser circulares o hexagonales)

6.5.6 VIGAS DE CELOSÍA

Las vigas de celosía son de gran utilidad en las construcciones metálicas en edificaciones industriales y para grandes luces.

Las vigas de alma llena, el alma es la parte de la sección que resiste predominantemente los esfuerzos cortante, colabora muy poco con la flexión. Además normalmente las tensiones tangenciales debidas a los esfuerzos cortantes quedan muy por debajo de las admisibles. Por estas razones, parece lógico que para aligerar el peso de las vigas se sustituya el alma llena por una malla de perfiles sometidos a esfuerzos axiales, debidos a los citados esfuerzos cortantes.

En la práctica los nudos no son articulaciones (algunas barras, como los cordones, son continuos), sino que en ellos se disponen cartelas a las que se unen las barras mediante tornillos o soldadura dando lugar a empotramientos elásticos que originan flexiones en

las barras como consecuencia de los desplazamientos de los nudos. Estas flexiones dan lugar a tensiones, las tensiones secundarias, que se suman a las tensiones principales.

Es conveniente que la inclinación de las piezas de la celosía del alma esté comprendida entre valores que oscilen de 45° a 60° , con objeto de que las tensiones secundarias tengan poca importancia y no se complique, excesivamente, la realización constructiva de los nudos.

Las estructuras reticuladas tienen aplicaciones numerosas. Se utilizan, en general, como elementos resistentes para cubiertas, vigas principales de edificación, antenas, torres y en la formación de arrostros.

En función de las solicitaciones a las que se encuentre sometida la cercha y al aspecto estético que se le pretenda dar, sus barras estarán formadas por angulares (simples formando una L o dobles formando una T), UPN (una simple o dos en cajón), tubo rectangular o redondo, IPE, HEB, HEA...etc.

Es importante tener presente a la hora del diseño que, como en toda viga, cuanto más separado esté el eje del cordón superior del eje del cordón inferior más resistirá el perfil que hemos colocado y menor será la deformación de la cercha.

A la hora de diseñar debe tenerse en cuenta que:

- No es siempre económico que cada elemento sea de tamaño diferente. El calculista debe racionalizar las dimensiones y poner no más de dos o tres secciones diferentes en las celosías de vano corto.
- Conviene que las dimensiones no sean demasiado grandes (mayores de 17m) para evitar los daños durante el transporte y el montaje.
- Las celosías grandes se transportan divididas en partes. En la obra se arman con uniones atornilladas.

PARTES DE LAS VIGAS DE CELOSÍA

En las vigas de celosía se distinguen tres partes:

- Cordón superior: Conjunto de elementos que forman la cabeza o cordón superior, en vigas simplemente apoyadas se encuentran sometidos a compresión.
- Cordón inferior: Conjunto de elementos que forman la cabeza o cordón inferior, en vigas simplemente apoyadas se encuentran sometidos a tracción.
- Montantes: Son las barras perpendiculares a los cordones, dispuestas en el alma de la viga.
- Diagonales: Son las barras inclinadas respecto a los cordones, dispuestas en el alma.

En el siguiente punto se va a comentar el tipo de vigas de celosía más comunes.

VIGA PRATT

La viga Pratt es adecuada para luces moderadas. Su principal ventaja radica en que las diagonales, que son las barras más largas de la celosía del alma, están solicitadas, generalmente, a tracción, mientras que los montantes (barras más cortas) resisten a compresión, ver *figura 13*.



Figura 13: Viga de celosía tipo Pratt

VIGA HOWE

La viga Howe también se emplea para luces moderadas, en esta viga las diagonales trabajan a compresión, mientras que los montantes lo hacen a tracción, ver *figura 14*.



Figura 14: Viga de celosía tipo Howe

VIGA WARREN

La viga de celosía tipo Warren se utiliza para luces pequeñas y medianas. Su aspecto es más agradable, ya que la malla es menos tupida, ver *figura 15*.

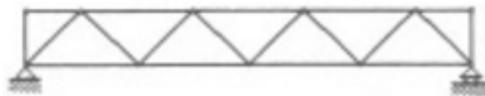


Figura 15: Viga de celosía tipo Warren

VIGA EN K

Este tipo de viga de celosía es apropiada para grandes luces, ver *figura 16*.

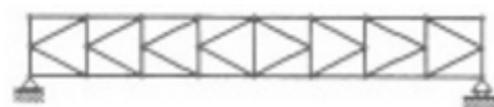


Figura 16: Viga de celosía tipo en K

VIGA EN ROMBO

Este tipo de viga en celosía también es apropiada para grandes luces, ver *figura 17*.



Figura 17: Viga de celosía tipo en Rombo

A todos estos tipos de triangulación primarios pueden incorporarse otras triangulaciones denominadas secundarias, cuya misión consiste en acortar los vanos de las barras para reducir sus longitudes de pandeo, si están comprimidas, o su flexión, si soportan cargas intermedias.

DETALLES DE NUDOS EN CELOSÍAS

Hay diferentes tipos de uniones en las vigas en celosía en función como se coloquen las vigas según el tipo de viga de celosía que se esté tratando. Por tanto se puede obtener diversos tipos de nudos como: nudo en K, N, T, X, KT. CHS es la abreviatura de Sección Hueca Circular, RHS es la abreviatura de Sección Rectangular y SHS es la abreviatura de Sección Hueca Cuadrada.

El cruce de barras sólo es aconsejable si las barras tienen igual sección. No es recomendable el aplastamiento de los extremos de una o de dos barras en su punto de cruce, por disminuir el momento de inercia.

En las siguientes figuras se muestran algunos detalles de nudos en cerchas.

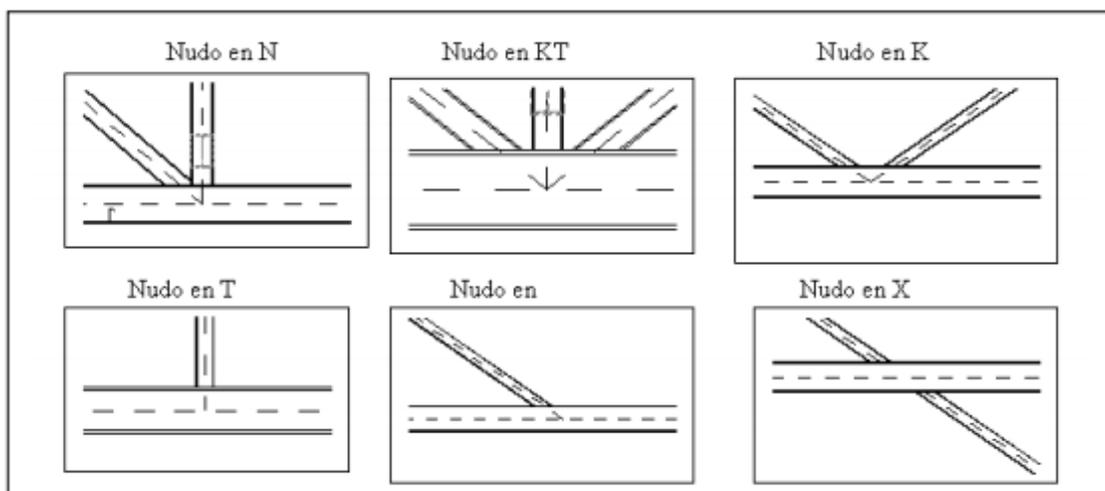


Figura 18: Diferentes nudos en vigas de celosía.

Las siguientes figuras muestran detalles de uniones en celosías planas que emplean perfiles huecos combinados entre sí o con perfiles laminados. El refuerzo de nudo con cartelas es consecuencia de la incapacidad del cordón para resistir por sí los esfuerzos transmitidos por las diagonales y montantes.

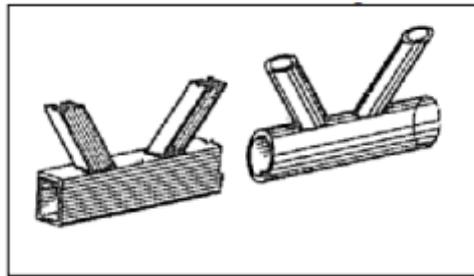


Figura 19: Nudos de perfiles huecos soldados directamente.

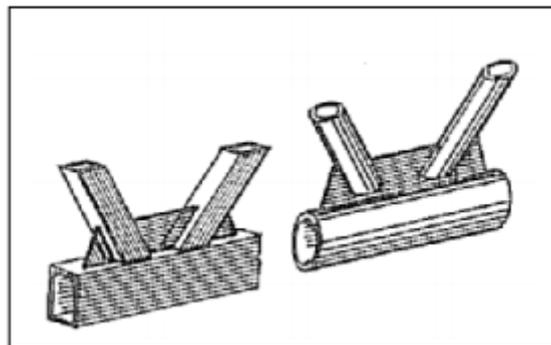


Figura 20: Nudos con cartela.

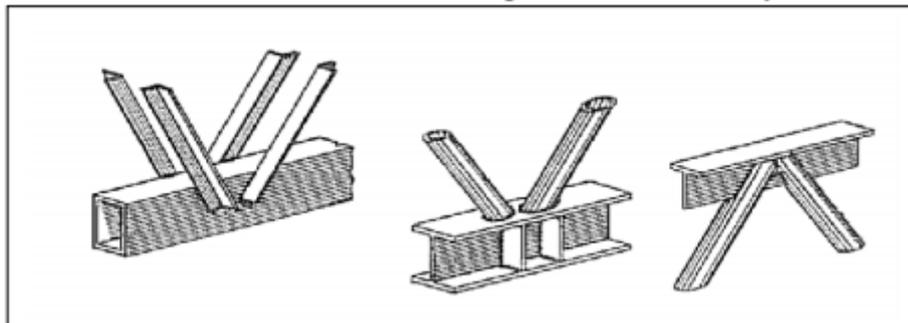


Figura 21: Nudos sin cartela de celosías de perfiles laminados y huecos.

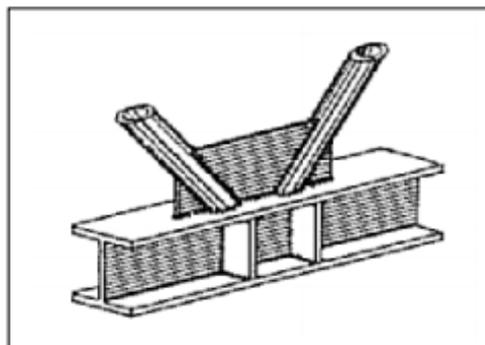


Figura 22: Nudo con cartela de celosías de perfiles laminados y huecos.

6.6 PÓRTICOS METÁLICOS

Los pórticos son conjuntos de barras, enlazadas entre sí, que forman un subconjunto estructural dentro de la estructura general. Aunque normalmente se analizan como si fueran elementos planos independientes unos de otros, globalmente deben formar una estructura espacial que sea capaz de asegurar la estabilidad del edificio en cualquier dirección.

Al conectar los elementos horizontales y verticales se consigue que la viga tenga extremos elásticamente empotrados resistiendo mayores cargas

Esquemáticamente, los tipos más frecuentes son pórticos a dos aguas pero también existen pórticos planos.

Los pórticos se pueden clasificar en pórticos simples o pórticos múltiples en función de estén formados por uno varios vanos.

Los pórticos están formados por vigas y pilares unidos entre si rígidamente o articulados, además algunas veces se colocan arriostramientos que son elementos que se colocan para absorber los empujes horizontales.

6.7 PAVIMENTO DE REJILLA ELECTROSOLDADA

La rejilla electrosoldada es el producto más extendido para la utilización en suelos, falsos techos, pasarelas y vallados en cualquier sector.

Sus virtudes como ligereza, manejabilidad y capacidad de soporte para todo tipo de cargas hacen que sea el producto ideal para muchos proyectos. La rejilla fabricada mediante electrosoldadura es un material rígido y uniforme que permite adaptarse a cualquier tipo de forma sin perder propiedades.

El acabado más recomendable es galvanizado, ya que aporta la protección indispensable contra la corrosión. Dependiendo de la utilidad también puede suministrarse pintado.

6.7.1 PARTES DE UNA REJILLA ELECTROSOLDADA

Una rejilla electrosoldada está formada por tres partes: pletina portante, pletina separadora y el marco perimetral,

Para definir una rejilla (emparrillado) electrosoldada se deben dar los siguientes parámetros:

Dimensiones, malla, portante, separador, acabado

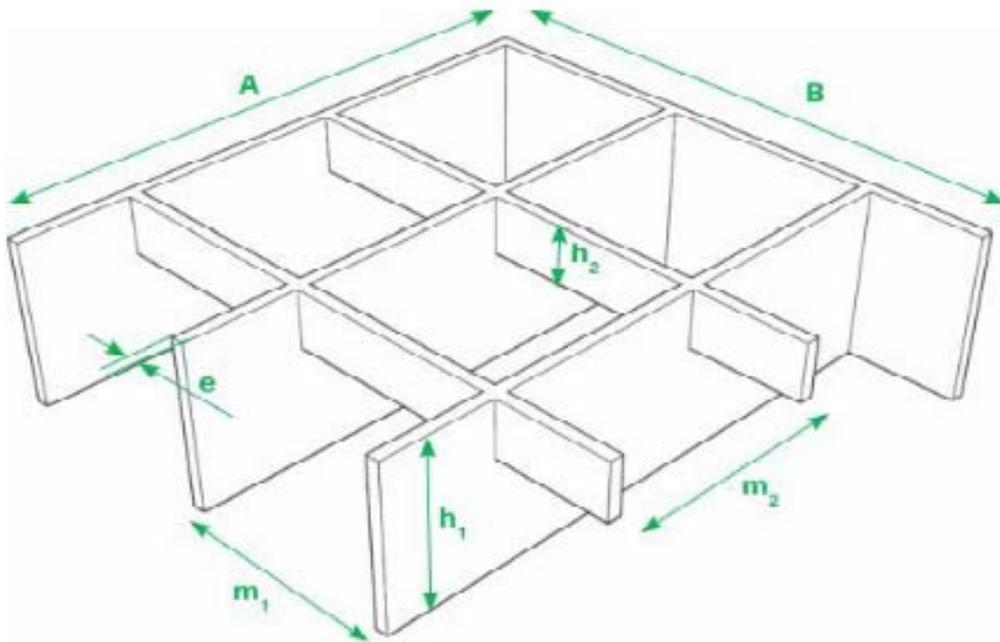


Figura 23: Parámetros de la rejilla electrosoldada.

En la *figura 23* se puede observar las correspondencias anteriores con los datos que se facilitan a la hora de escoger una rejilla u otra.

Donde:

A: Dimensión en la dirección de las pletinas portantes (ancho).

B: Dimensión en la dirección de las pletinas separadoras (largo).

m_1 : Malla al ancho (distancia entre pletinas portantes).

m_2 : Malla al largo (distancia entre pletinas separadoras).

h_1 : Altura de las pletinas portantes y canto de la rejilla.

h_2 : Altura de las pletinas separadoras.

e : Espesor de las pletinas portantes.

En cuanto al acabado se puede indicar si la rejilla es en acabado galvanizado, etc.

6.7.2 PLETINA PORTANTE

Las pletinas portantes se definen como barras de acero plano, por su altura y espesor, y son las que soportan todo el esfuerzo que debe soportar el emparrillado, siendo por tanto necesario que estén apoyadas en sus extremos. Los encajes realizados en ella vendrán determinados por la distancia de malla y el componente separador. Pueden procesarse con el canto liso o con dentado antideslizante.

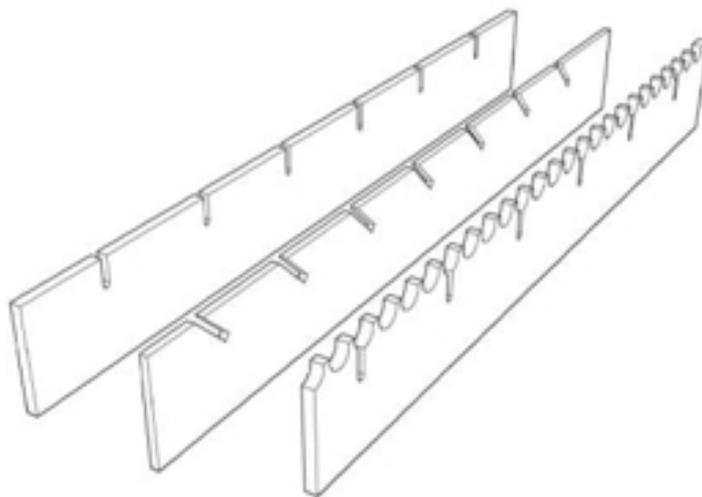


Figura 24: Tipos de pletina portante de las rejillas electrosoldadas

6.7.3 PLETINAS SEPARADORAS

Las pletinas separadoras o varillas separadoras delimitan la malla transversalmente y mantienen paralelas las pletinas portantes de forma homogénea, además de transmitir la carga entre ellas. Se definen por su altura y espesor, en el caso de pletinas, o por su diámetro para las varillas. Las pletinas separadoras pueden ejecutarse lisas o dentadas antideslizantes, y las varillas pueden ser lisas o entregiradas.

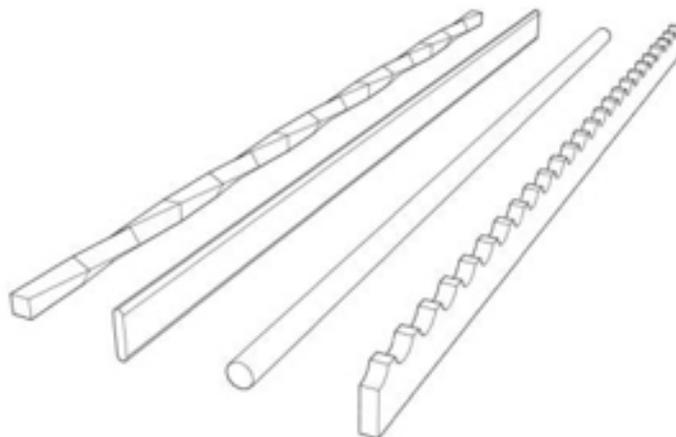


Figura 25: Tipos de pletinas de las rejillas electrosoldadas

6.7.4 MARCO PERIMETRAL

El perfil (marco) perimetral circunscribe y mantiene la escuadra de la rejilla y distribuye la carga en los apoyos. De ese modo, las rejillas se pueden enmarcar en pletina, tubo o perfil de “T”. El marco perimetral evita que las pletinas portantes y separadoras puedan moverse y deformarse.

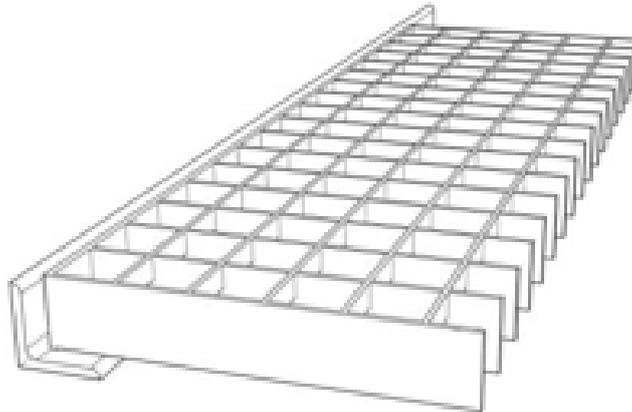


Figura 26: Ejemplo de marco perimetral de las rejillas electrosoldadas

6.7.5 MALLA

La malla es la distancia entre pletinas portantes y pletinas separadoras. Técnicamente se mide siempre entre ejes prescindiendo del espesor de las pletinas, aunque por lo general, se redondea comercialmente.

La nomenclatura de la malla siempre tiene dos grupos de cifras separadas por el signo x, la que está en primer lugar indica la distancia entre pletinas portantes y la segunda la distancia entre pletinas separadoras.

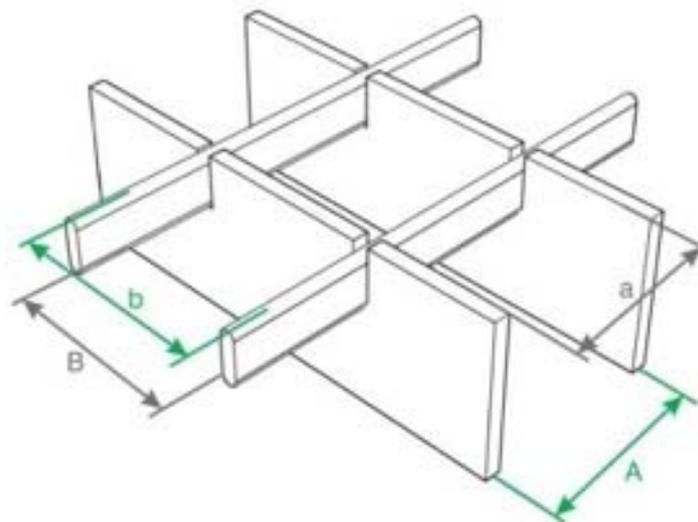


Figura 27: Malla de una rejilla electrosoldada

6.7.6 MALLA DE PROTECCIÓN

Opcionalmente, se puede incorporar a la malla un fleje troquelado de 8mm por 8mm, que evita la caída de objetos a través de la rejilla y reduce los vértigos en instalaciones de altura.

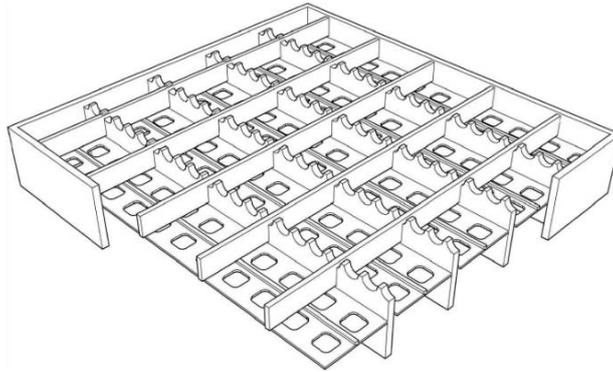


Figura 28: Malla de protección

6.7.7 PIEZAS DE FIJACIÓN PARA REJILLAS ELECTROSOLDADAS

Para la sujeción de las rejillas al perfil estructural que soportan el peso, se tienen diferentes tipos de grapas como son:

Grapa tipo M



Figura 29: Grapa de fijación tipo M

Grapa tipo L



Figura 30: Grapa de fijación tipo L

Grapa tipo C



Figura 31: Grapa tipo C

Las grapas de sujeción son elementos mecánicos que, por la presión ejercida al atornillar, fijan las rejillas contra el perfil estructural sobre el que descansan.

El kit de la grapa está formado por: un yugo (que tiene forma de M, L y C), tornillo, arandela y tuerca. Su diseño permite el montaje íntegro desde la cara superior de trabajo de la rejilla, lo que permite su colocación incluso cuando no se tiene acceso a la zona inferior de la rejilla.

7. NORMAS Y REFERENCIAS

Para la realización de este proyecto se ha aplicado dos normativas: el Código Técnico de la Edificación (CTE) y la Norma de construcción Sismorresistente (NCSE-02).

7.1 CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el conjunto principal de normativa que regula la construcción en España desde el año 2006. EL CTE está formado por dos conjuntos de normativas que se denominan Documentos Básicos y existen dos tipos: Documentos Básicos de seguridad y Documentos Básicos de habitabilidad. Por tanto, en el proyecto se han utilizado los siguiente Documentos Básicos:

-Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE): establece reglas y procedimientos que permitan cumplir las exigencias básicas de seguridad estructural. El conjunto de normativas en las que se descompone el DB-SE aplicadas en este proyecto son:

- DB-SE-AE (Acciones en la Edificación): El campo de aplicación de este DB es el de la determinación de las acciones (permanentes, variables y accidentales) sobre las construcciones, para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural y aptitud de servicio, establecidos en el DB-SE.
- DB-SE-A (Acero): este DB se destina a verificar la seguridad estructural de los elementos metálicos realizados con acero, edificación.

7.2 REGLAMENTO DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES

Este reglamento tiene por objeto conseguir un grado suficiente de seguridad en caso de incendio en los establecimientos e instalaciones de uso industrial.

Las actividades de prevención del incendio tendrán como finalidad limitar la presencia del riesgo de fuego y las circunstancias que pueden desencadenar el incendio. Las actividades de respuesta al incendio tendrán como finalidad controlar o luchar contra el incendio, para extinguirlo, y minimizar los daños o pérdidas que pueda generar.

7.3 INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE-08)

Norma aplicable a las estructuras y elementos de hormigón estructural, incluido el hormigón en masa, armado y pretensado así como hormigones especiales.

7.4 NORMA DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE

La Norma de construcción Sismorresistente (NCSE-02) es la normativa vigente en España que regula la construcción de una estructura sometida a la acción sísmica.

De acuerdo con el uso a que se destinan las construcciones, con los daños que puede ocasionar su destrucción e independientemente del tipo de obra de que se trate, la NCSE-02 clasifica las construcciones en:

- De importancia moderada: aquellos edificios cuya destrucción por el terremoto sea despreciable la pérdida de vidas humanas, interrumpir un servicio o provocar daños catastróficos.
- De importancia normal: aquellos edificios cuya destrucción por el terremoto provoque víctimas, importantes pérdidas económicas pero sin dar lugar a efectos catastróficos.
- De importancia especial: aquellos edificios cuya destrucción pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos como: hospitales, centrales nucleares etc.

La estructura de este proyecto se engloba dentro de la categoría: construcciones de importancia especial porque sobre esta estructura trabajarán científicos a unos 800m en el subsuelo de modo que en caso de sismo se ha de evitar la pérdida de vidas humanas. Además, se trata de un proyecto de investigación que lleva muchos años consolidándose mediante estudios teóricos, numéricos y experimentales y que ha contado con una financiación de fondos públicos europeos.

Por último, la aceleración sísmica de la zona donde se colocará la estructura del proyecto es de $0.07g$ (g es la gravedad de la Tierra), de modo que, la normativa Sismorresistente establece que si se tiene una construcción del tipo de importancia especial cuya aceleración sísmica es $0.04g$ o mayor hay que aplicar esta normativa Sismorresistente.

En la figura 32, se muestra el mapa de las aceleraciones sísmicas básicas del territorio español y se ha enmarcado en lugar donde se montara esta estructura, Canfranc.

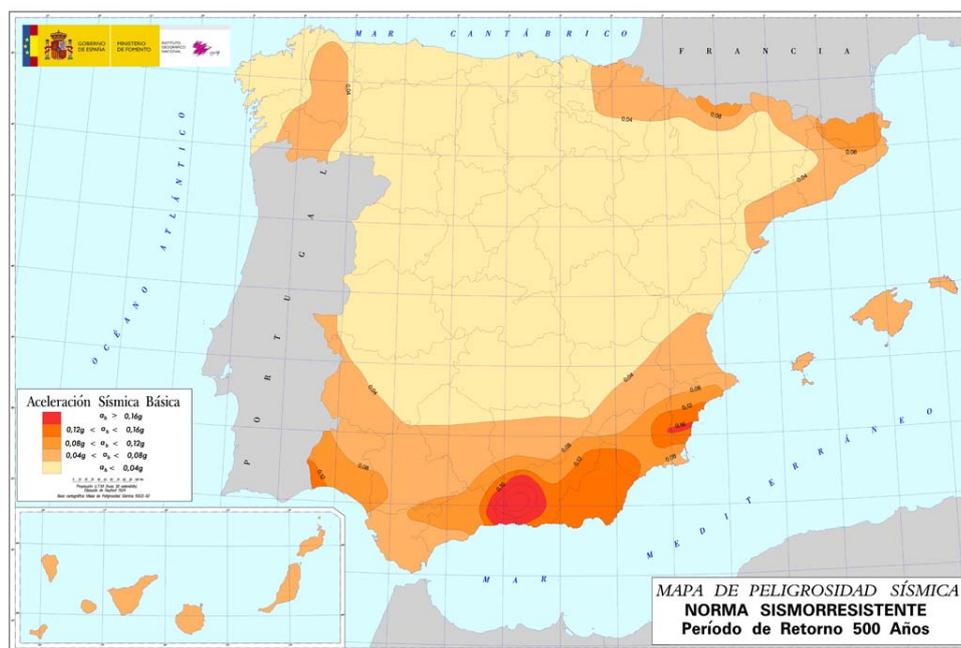


Figura 32: Mapa aceleración sísmica básica España

8. HERRAMIENTAS DE CÁLCULO

En este apartado se detalla el software utilizado para la realización de la plataforma de trabajo.

Se ha utilizado el paquete de software CYPE Ingenieros, la versión 2017.b. De este paquete de software, se han utilizado los siguientes programas: CYPE 3D, CYPECAD y el generador de precios.

8.1 CYPE 3D

CYPE 3D es un ágil y eficaz programa para realizar el cálculo de estructuras en tres dimensiones de barras de hormigón, de acero, mixtas de hormigón y acero, de aluminio, de madera o de otro tipo de material, incluido el dimensionado de uniones y el de su cimentación. Además, el programa permite trabajar con normativas nacionales e internacionales.

Una vez se tiene diseñada la plataforma de trabajo y el conjunto de barras que la componen, se procede a añadir las barras (pilares y vigas) en el programa, hasta tener toda la estructura definida.

Una vez se tengan colocadas todas las barras, se procede a incluir las vinculaciones exteriores e interiores que tiene los nudos de las barras. Tras ello, se realizarán dos agrupaciones de barras, por un lado se agruparán todos los pilares y por otro todas las

barras que forman las vigas en celosía. Estas agrupaciones se realizan por comodidad, ya que al modificar un tipo de perfil todos sus homólogos se modifican también.

Seguidamente, se asignan los coeficientes de pandeo a cada barra según corresponda y se les asigna el límite de flecha.

Después, se realiza el cálculo y modificaciones hasta tener un resultado favorable en todas las barras y se calculan las placas de anclaje.

Como la cimentación de la estructura ya está realizada en el laboratorio, consta de una losa de cimentación de unos 40 cm, se procede a llevar la estructura calculada con CYPE 3D a CYPECAD para comprobar si con la cimentación que se tiene es suficiente y cumple.

Una vez realizado todos los pasos se obtienen los planos de la estructura.

8.2 CYPECAD

CYPECAD es un programa para realizar el diseño, cálculo y dimensionado de estructuras de hormigón armado y metálicas para edificación y obra civil, sometidas a acciones horizontales, verticales y a la acción del fuego.

Como la cimentación de la estructura se tiene ya realizada y es una losa de cimentación, se procede a simular una losa de 40 cm de características similares a la real.

Una vez dimensionada la losa de cimentación, se exporta desde CYPE 3D la estructura ya calculada y se coloca sobre esta losa. Seguidamente, se comprueba que efectivamente la losa hace su función y la estructura soporta las cargas.

8.3 GENERADOR DE PRECIOS

El generador de precios es un programa que permite obtener los costes de construcción ajustados al mercado para obra nueva, rehabilitación, y espacios urbanos.

Además, facilita la elaboración de una documentación completa de calidad (completa, consistente y con información técnica vinculada a cada unidad de obra), útil para las distintas fases del ciclo de vida de un edificio (estudios previos, anteproyecto, proyecto básico y de ejecución, dirección y ejecución de la obra, uso y mantenimiento, de construcción y reciclado final). Incluye productos de fabricantes y productos genéricos.

De modo que, se obtiene de los listado de CYPE 3D información en cuanto los kilogramos de acero utilizado, metros cuadrados de acero, componentes de las placas de anclaje y la rejilla electrosoldada utilizada. Los precios de toda la información anterior se puede consultar en el generador de precios y así se puede obtener el presupuesto de la estructura.

9. DIMENSIONADO Y ANÁLISIS DE SOLUCIONES

9.1 PROCESO DE DIMENSIONADO

9.1.1 GEOMETRÍA Y CARGAS DE LA PLATAFORMA DE TRABAJO

La plataforma de trabajo estará formada por un conjunto de pórticos en ambas direcciones horizontales (coordenadas X e Y).

Todas las cargas sobre la plataforma se introducirán a través de un paño, estas cargas incluyen: la sobrecarga de uso de la plataforma, el peso propio de la rejilla electrosoldada y el peso del conjunto de dispositivos que se depositaran sobre la plataforma. Un paño es una herramienta que tiene el software CYPE 3D para repartir cargas en una dirección. Por tanto, hay que decidir en qué dirección se reparten las cargas mencionadas anteriormente.

Haciendo un estudio preliminar se decidirá si se el paño irá en la dirección de los pórticos en X o en Y , de modo que si el paño se define en la dirección X , las cargas se transmitirán en las vigas largas de los pórticos y si se define en la dirección Y , se transmitirán en las vigas cortas.

El estudio preliminar consiste en analizar una pequeña porción de la estructura poniendo una carga elevada en ambas direcciones y así se obtiene la situación más desfavorable. Después de este estudio se concluye que es más desfavorable cargar en las vigas largas, por lo que se ha decidido hacer una simplificación del lado de la seguridad. La simplificación consiste en cargar sobre las vigas largas, dimensionando estas vigas para que resistan y así las vigas cortas también resistirán.

Para referirse a los pórticos de una manera fácil se han nombrado de la siguiente forma: los pórticos que están en la dirección de reparto de la carga se llaman pórticos frontales, mientras que los pórticos que están en la dirección perpendicular a la dirección de reparto de los paños se llaman pórticos laterales.

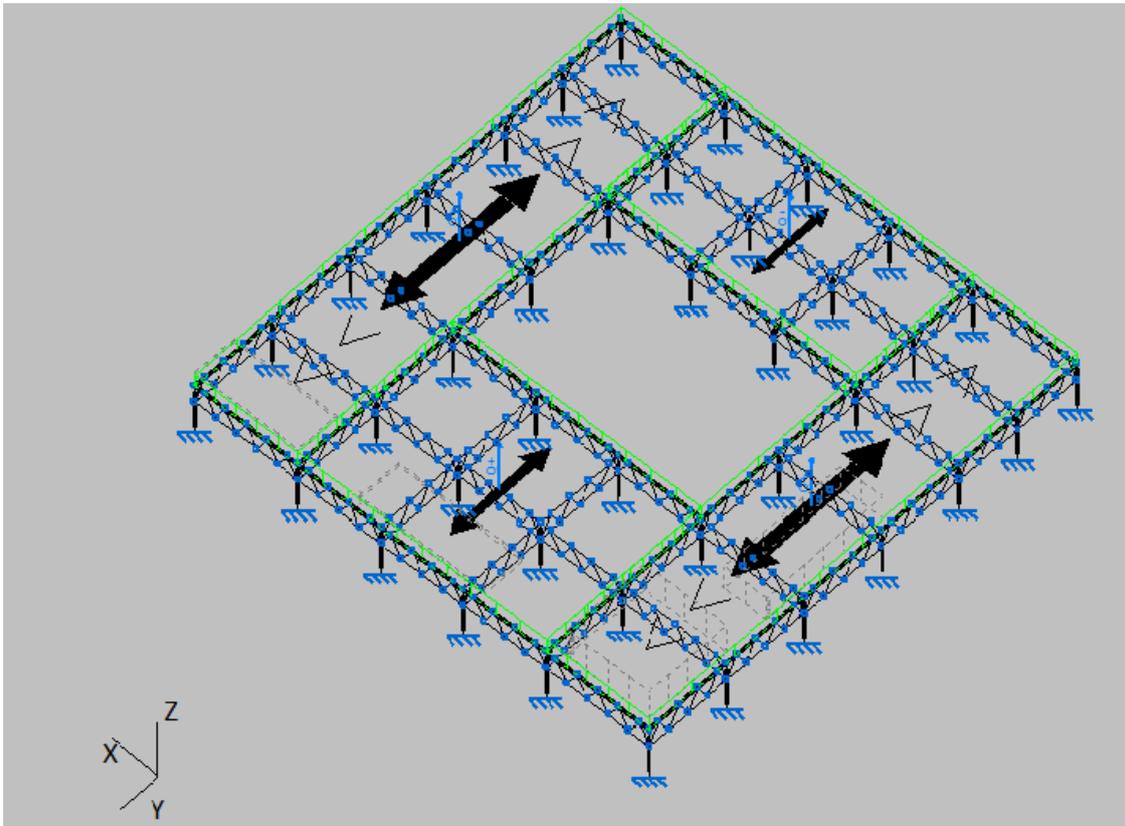


Figura 33: Dirección de los paños elegida para el reparto de cargas.

Según la explicación previa y considerando que las cargas se aplicarán en la dirección Y, se tienen 7 pórticos planos separados 2 m y los dos últimos 1,5 m, ver *figura 33*.

Cada pórtico estará formado por 6 pilares y entre ellos se colocaran vigas de celosía tipo Warren. Hay que tener en cuenta que se necesita una plataforma muy rígida debido a que sobre ella se depositarán dispositivos de medida muy sensibles. La rigidez horizontal será consecuencia de los muros perimetrales de hormigón y para la rigidez en vertical se plantea el diseño de vigas reticulares.

Por tanto, se ha decidido colocar vigas en celosías para aportar mayor rigidez. Específicamente, se ha elegido el tipo de celosía tipo Warren, porque este tipo de vigas se emplea en luces pequeñas y moderadas. Además el ángulo de encuentro es de 60° ya que son triángulos equiláteros.

Entre los pórticos frontales se han colocado también celosías tipo Warren para arriostrar los pórticos entre sí formando así los pórticos laterales. Se ha decidido incluir estas celosías del mismo tipo para homogeneizar la estructura.

Una vez diseñado un pórtico, se copia a la distancia de separación correspondiente hasta completar los 7 pórticos. Una vez establecidos los pórticos, se realizan los arriostramientos de un pórtico con las vigas de celosía y se copian todas estas vigas al resto de pórticos.

9.1.2 REJILLA ELECTROSOLDADA

Para definir que rejilla electrosoldada hay que tener en cuenta varios parámetros:

- Carga a soportar
- Distancia entre apoyos
- Dimensiones de la pletina portante
- Dimensiones de las piezas de rejilla electrosoldada

Con todos estos parámetros se han consultado fabricantes de rejillas electrosoldadas y se ha seleccionado la tabla de carga del fabricante Eurotramex S.A que se basa en malla de 30mm por 30mm, ver *tabla 3*.

TABLA DE CARGAS DE REJILLAS ELECTROFUNDIDO



Portante	Distancia en mm. entre apoyos																							
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	
20x2	U1			1900	1320	970	742																	
	U2			156	225	306	409																	
	U3			155	195	264	359																	
20x3	U1			1.5	2.16	2.86	3.66																	
	U2			2851	1980	1454	1113	880	712															
	U3			1.56	2.25	3.06	4.09																	
25x2	U1			1.25	1.75	2.29	2.93	3.64	4.44	5.32														
	U2			4454	3093	2272	1740	1374	1113	920	773	658	568											
	U3			1.25	1.80	2.45	3.20	4.06	5.00	6.05	7.30	8.85	9.80											
25x3	U1			1.25	1.75	2.29	2.93	3.64	4.44	5.32	6.28	7.32	8.44											
	U2			365	292	243	208	182	162	146	132	121	112											
	U3			4275	2969	2181	1670	1320	1069	883	743	622	545											
30x2	U1			1.25	1.75	2.29	2.93	3.64	4.44	5.32	6.28	7.32	8.44											
	U2			1.04	1.5	2.04	2.67	3.38	4.17	5.04	6.00	7.04	8.17											
	U3			350	280	234	200	175	155	140	127	117	107											
30x3	U1			1.04	1.44	1.91	2.44	3.04	3.70	4.44	5.24	6.10	7.04											
	U2			4414	4454	3272	2505	1980	1603	1324	1113	948	817	712	626	554								
	U3			1.04	1.50	2.04	2.67	3.38	4.17	5.04	6.00	7.04	8.17	9.38	10.67	12.04								
30x5	U1			1.04	1.44	1.91	2.44	3.04	3.70	4.44	5.24	6.10	7.04	8.04	9.10	10.24								
	U2			15550	10900	8070	6150	4500	3550	2880	2380	2000	1704	1469	1280	1125	997	889	798					
	U3			1.3	1.8	2.4	3.1	3.9	4.7	5.6	6.6	7.7	8.9	10.2	11.6	13.0	14.5	16.1						
35x3	U1			1.00	1.39	1.75	2.29	2.89	3.57	4.32	5.14	6.04	7.00	8.04	9.14	10.32	11.57	12.80						
	U2			715	591	479	409	358	317	286	259	238	220	204	191	178	168	158						
	U3			3781	2521	1833	1309	1000	780	610	480	390	320	260	210	170	140	110	90					
40x2	U1			0.76	1.12	1.53	2.00	2.53	3.13	3.78	4.50	5.28	6.13	7.03	8.00	9.03	10.12							
	U2			634	493	415	356	312	277	248	226	207	191	178	165	155	146							
	U3			3278	2108	1431	1033	780	600	470	380	310	250	200	160	130	100	80	60					
40x3	U1			0.76	1.11	1.53	2.00	2.53	3.13	3.78	4.50	5.23	6.13	7.03	8.00	9.03	10.13	11.28	12.50	13.78				
	U2			934	748	624	534	467	415	374	339	312	287	266	249	234	220	207	197	186				
	U3			5796	3818	2643	1883	1380	1050	800	620	490	400	330	270	220	180	140	110	90	70			
40x4	U1			0.76	1.08	1.43	1.83	2.28	2.78	3.33	3.93	4.58	5.28	6.03	6.83	7.68	8.58	9.53	10.53	11.58				
	U2			1259	1018	848	720	620	540	480	420	370	320	280	240	210	180	150	120	100	80			
	U3			6796	4518	3090	2160	1560	1140	840	620	470	370	300	240	190	150	120	100	80	60			
40x5	U1			0.76	1.08	1.43	1.83	2.28	2.78	3.33	3.93	4.58	5.28	6.03	6.83	7.68	8.58	9.53	10.53	11.58				
	U2			1647	1312	1044	868	750	650	570	500	440	390	340	300	260	220	190	160	130	100			
	U3			8790	5718	3870	2640	1890	1380	1020	760	580	450	360	290	230	180	140	110	90	70			
50x4	U1			1.00	1.4	1.8	2.3	2.8	3.5	4.2	5.0	5.8	6.7	7.7	8.7	9.7	10.9	12.1	13.4	14.7	16.1	17.6	19.1	
	U2			2559	1771	1305	996	780	630	520	440	380	330	290	250	210	180	150	120	100	80	60		
	U3			1355	1044	810	675	570	490	430	380	330	290	250	210	180	150	120	100	80	60	40		
60x5	U1			1.0	1.3	1.7	2.1	2.6	3.2	3.8	4.5	5.2	6.0	6.9	7.9	8.9	10.0	11.2	12.5	13.9	15.4	16.8	18.3	
	U2			3211	2520	1920	1410	1070	840	680	560	470	400	340	290	240	200	160	130	100	80	60		
	U3			1655	1260	945	735	600	510	440	380	330	290	250	210	180	150	120	100	80	60	40		

Tabla 3: Tabla de carga de rejilla electrosoldada del fabricante Eurotramex S.A

De la *tabla 3* se selecciona aquella pletina portante que cumpla con los requisitos deseados: distancia entre apoyos 2000 mm, carga distribuida superior a 1000 kg/m². Con esta información, se selecciona la pletina portante de 40 mm de canto por 5mm de espesor, siendo la pletina separadora redonda de 8 mm. Este tipo de rejilla resiste una carga distribuida de 1280 kg/m² y su peso es alrededor de 55 kg/m². Además esta rejilla electrosoldada tendrá una malla de protección formada por perforaciones cuadradas de 8 mm por 8 mm.

Además, en la estructura existen huecos a cubrir de las siguientes medidas:

- Para los huecos de 2,5 m de largo por 2 m de alto, se colocaran tres piezas de rejilla electrosoldada de las siguientes medidas: dos piezas de 1 m de largo y 2 m de alto y una pieza de 0,5 m de largo y 2m de alto.
- Para los huecos de 2m de largo y 2 m de alto, se colocaran dos piezas de rejilla electrosoldada de las medidas: 1m de largo por 2 m de alto.
- Para los huecos de 2,5 m de largo por 1,5 m de alto, se colocaran tres piezas de rejilla electrosoldada de las medidas: dos piezas de 1 m de largo y 1,5m de alto y una pieza de 1 m 0,5 m de largo y 1,5 m de alto.
- Para los huecos de 2m de largo y 1,5 me de alto, se colocara dos piezas de rejilla electrosoldada de las medidas: 1m de largo por 1,5 m de alto.

Hay que tener en cuenta que una característica muy importante establecida por el fabricantes es que todas la piezas de rejilla electrosoldada deben apoyar como mínimo 30 cm sobre los perfiles en los que se apoye.

9.1.3 DESCRIPCIÓN DE LOS NUDOS

Una vez ya se tiene definida la geometría de toda la estructura metálica, se describirá el tipo de unión que existe entre los diferentes elementos.

Todos los pilares que forman la estructura irán empotrados en el suelo.

Las vigas de celosía se trataran de la siguiente forma: los cordones superiores e inferiores serán uniones rígidas entre ellos y los cordones intermedios (diagonales) estarán articulados en sus extremos.

Como son vigas de celosía pequeña, cuya luz mayor es de 2,5 m, se montaran en taller y se llevaran a la obra ya ensambladas. La unión de la viga de celosía a los pilares será articulada, ya que no se conseguirá una unión rígida perfecta si no se colocan rigidizadores.

9.1.4 PANDEOS

Tanto el plano de los pórticos como sus planos perpendiculares son planos intraslacionales, ya que los pórticos están fijados al muro perimetral que hay alrededor de la estructura (un muro muy resistente de hormigón).

Los coeficientes de pandeo asignados son:

Pilares:

- En el plano XY se ha considerado que el pilar esta empotrado-articulado, por tanto se le aplica un coeficiente beta de pandeo de 0,7.
- En el plano XZ también se ha considerado que el pilar esta empotrado-articulado de la misma forma se tiene un coeficiente beta de pandeo de 0,7.

Vigas de celosía:

Para aplicar el coeficiente de pandeo se sigue lo establecido en el CTE DB-SE-A apartado 6.3.2.4 elementos triangulados:

- 1) En celosías espaciales formadas por perfiles huecos atornillados en sus extremos se tomará como longitud de pandeo la distancia entre ejes de nudos para cualquier barra.
- 2) En vigas planas trianguladas se tomará como longitud de pandeo:
 - a) para los cordones, pandeo en el plano de la viga, la distancia entre ejes de nudos,
 - b) para los cordones, pandeo fuera del plano, la longitud teórica de la barra medida entre puntos fijos por existir arriostramiento; en caso de no existir puntos fijos, se tratará como una pieza de compresión variable,
 - c) para los montantes y diagonales, pandeo en el plano de la viga, la longitud libre entre barras,
 - d) para los montantes y diagonales, pandeo fuera del plano, la longitud entre ejes de nudos.
- 3) En vigas planas trianguladas formadas por perfiles huecos de cordones continuos y diagonales y montantes soldados de forma continua en todo el perímetro, se podrán tomar como longitudes de pandeo las definidas en el apartado anterior, aplicando el factor 0,9 a los cordones, y 0,75 a los montantes y diagonales.

Se va a considerar que se tiene un punto de fijación cada 0,5m de la rejilla electrosoldada, por tanto, en el codón superior se tendrá la longitud máxima de pandeo, que será la distancia entre puntos fijos: 0.5 m.

Cordón superior:

- En el plano XZ: se considera la longitud de pandeo a la longitud entre ejes de nudos multiplicados por el factor 0,9. Entonces la longitud de pandeo es 0,45.
- En el plano XY: se considera la longitud de pandeo la longitud a la longitud teórica medida entre puntos fijos, por existir arriostramientos, multiplicada por el factor 0,9. Por tanto, la longitud de pandeo es de 0,45.

Cordón inferior:

- En el plano XZ: se considera la longitud de pandeo a la longitud entre ejes de nudos multiplicados por el factor 0,9. Entonces la longitud de pandeo es del 0,45.
- En el plano XY: como en el cordón inferior no existe arriostramiento de los puntos como en el cordón superior (porque existe la rejilla electrosoldada), se ha obtenido la longitud de pandeo gracias a la hoja de cálculo de la monografía N° 4 del CIDECT. De forma que la longitud de pandeo para las barras del cordón inferior es de 0,97.

Diagonales:

- En el plano XZ: la longitud de pandeo se considera a la longitud de la barra multiplicada por el factor 0,75, siendo el valor de longitud de pandeo de 0,38.
- En el plano XY: la longitud de pandeo se considera a la longitud entre ejes de nudos multiplicados por el factor 0,75, siendo el valor de longitud de pandeo de 0,38.

9.1.5 FLECHA

La flecha se condiciona por tres razones, según el CTE-DB-SE en el apartado 4.3.3.1: cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, cuando se considere el confort de los usuarios y cuando se considere la apariencia de la obra.

De estos condicionantes se decide elegir la de considerar la integridad de los elementos constructivos, considerando solo las deformaciones que se produce después de la puesta en obra del elemento, estableciendo la flecha en $L/300$.

En el software Cype 3D se selecciona la ventana creada de los cordones superiores y se le aplica a todas las barras el valor de flecha activa relativa de $L/300$.

9.1.6 DESCRIPCIÓN DE LAS BARRAS

Para facilitar el trabajo y optimizar la estructura se han agrupado todas las barras del mismo tipo. Se han realizado dos agrupaciones: a) por un lado se han agrupado todos los pilares de la estructura y b) por otro lado se han agrupado todas las barras que forman los cordones superiores, los cordones inferiores y las diagonales.

Tanto para los pilares como para todas las barras que forman las celosías se han colocado perfiles huecos cuadrados.

Una vez calculada la estructura y supervisado que se cumplen con todas las comprobaciones, los perfiles seleccionados son los siguientes (ver Figura 34):

Pilares: el perfil que se colocara en todos los pilares de la estructura será un perfil SHS 80x4,0 de 1,27 m de longitud.

Vigas de celosías:

Para las vigas de celosía de luz 2,5 m se tiene para los cordones superiores e inferiores, un perfil SHS 60x4,0 de 2,5m de longitud y para las diagonales también se usa un perfil de SHS 60x4,0 de longitud 0,5 m.

Para las vigas de celosía de luz 2 m se tiene para los cordones superiores e inferiores, un perfil SHS 60x4,0 de 2 m de longitud y para las diagonales también se usa un perfil de SHS 60x4,0 de longitud 0,5 m.

Para las vigas de celosía de luz 1,5 m se tiene para los cordones superiores e inferiores, un perfil SHS 60x4,0 de 1,5 m de longitud y para las diagonales también se usa un perfil de SHS 60x4,0 de longitud 0,5 m.

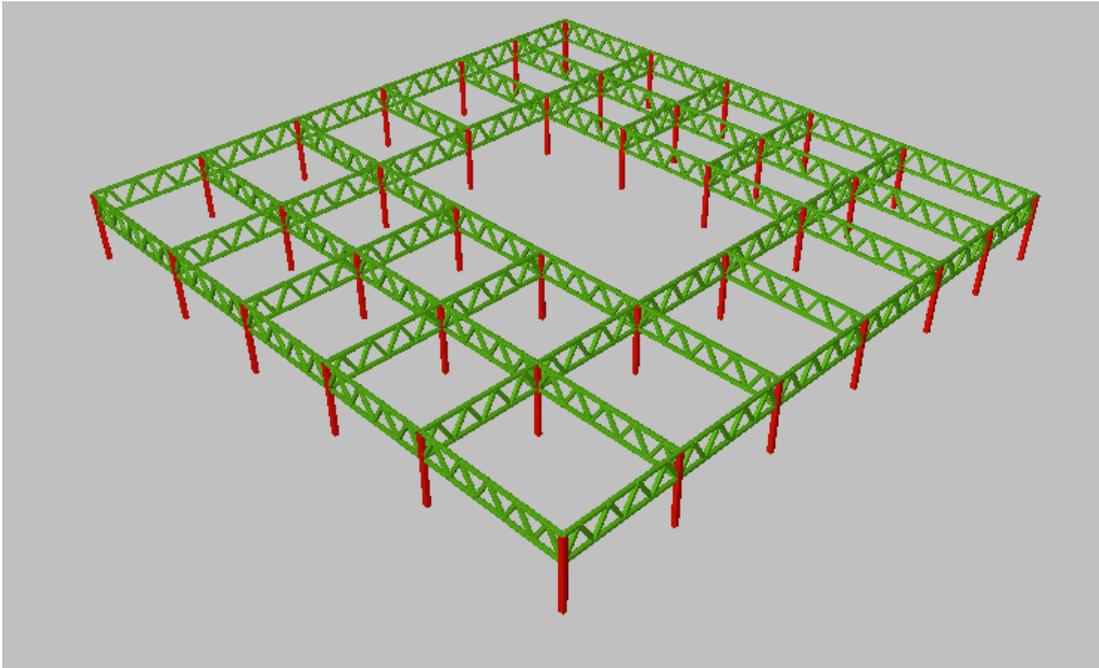


Figura 34: Vista 3D de la plataforma de trabajo

9.1.7 PLACAS DE ANCLAJE

Una vez realizado el cálculo de la estructura y verificado que se cumplen todas las comprobaciones, se calculan todas las uniones de los pilares con el suelo.

El software Cype 3D calcula las placas de anclaje de todos los pilares, incluyendo las dimensiones de la placa, diámetro y longitud de los pernos, forma de unión de los pernos y rigidizadores.

Una vez calculadas las placas y verificando que se cumplen todas las comprobaciones pertinentes, se puede seleccionar y modificar las dimensiones de la placa.

En este proyecto se han agrupado las placas de anclaje de la siguiente forma:

- Para cada lado perimetral de la estructura se han agrupado las placas.
- Se han agrupado entre si las cuatro placas esquineras.
- Se han agrupado el resto de placas de la estructura.

Las características de las placas de anclaje serán las siguientes:

Placa de anclaje de los pilares de las esquinas, ver *tabla 4* y *figura 35*.

Placa base		Pernos	
Ancho en X	200mm	Numero de pernos	4
Ancho en Y	200mm	Diámetro	8mm
Espesor	15mm	Longitud	20cm
		Anclaje hormigón	Prolongación recta

Tabla 4: Características de la placa de anclaje de los pilares de las esquinas

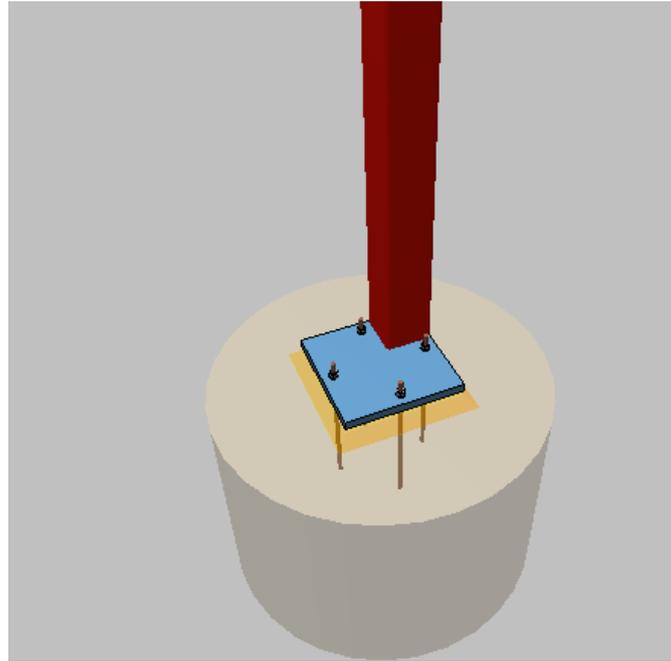


Figura 35: Placa de anclaje de los pilares de las esquinas

Placa de anclaje de los pilares perimetrales, ver tabla 5 y figura 36.

Placa base		Pernos	
Ancho en X	200mm	Numero de pernos	4
Ancho en Y	200mm	Diámetro	8mm
Espesor	15mm	Longitud	20cm
		Anclaje hormigón	Prolongación recta

Tabla 5: Características de la placa de anclaje de los pilares perimetrales

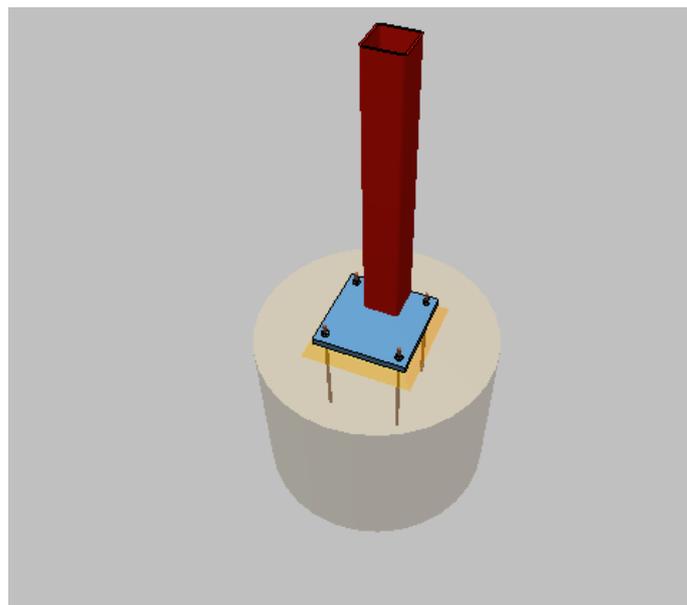


Figura 36: Placa de anclaje de los pilares perimetrales

Placa de anclaje del resto de los pilares, ver *tabla 6* y *figura 37*.

Placa base		Pernos	
Ancho en X	200mm	Numero de pernos	4
Ancho en Y	200mm	Diámetro	8mm
Espesor	15mm	Longitud	20cm
		Anclaje hormigón	Prolongación recta

Tabla 6: Características de la placa de anclaje del resto de los pilares

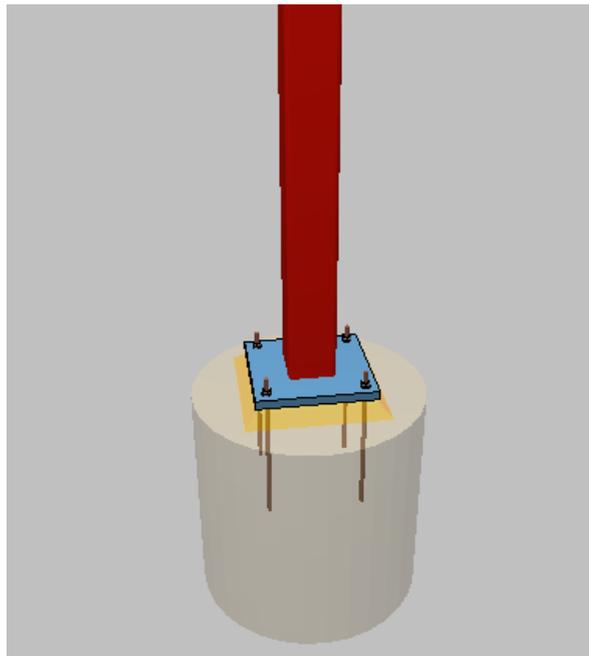


Figura 37: Placa de anclaje del resto de los pilares

9.1.8 CIMENTACIONES

Llegado este punto, ya se tiene la estructura calculada y verificada que se satisfacen todos los requerimientos. También, se tiene calculadas y comprobadas todas las placas de anclaje de los pilares.

En el laboratorio se tiene realizada la cimentación para la plataforma de trabajo, que se engloba dentro de las cimentaciones directas y, en particular, es una losa de hormigón.

Las dimensiones suministradas por el laboratorio son una losa de hormigón de 11 m de largo por 11 m de ancho y de una profundidad de unos 40 cm. Basándose en esta información, se comprobará si esta cimentación ya realizada es suficiente para asentar la estructura calculada sin peligro de hundimiento.

Para ello se realizara la comprobación con el software Cypecad, de manera que se introducirá la losa de características conocidas, se importará la estructura calculada y se analizará.

Para poder dimensionar la losa, se considera que la clase general de exposición es IV, porque al estar en el subsuelo puede haber presencia de cloruros. Según la EHE, para una clase de exposición IV le corresponde como mínimo un HA 30 de hormigón armado.

Tanto para la losa como para las cuatro vigas perimetrales (zuncho) que envuelven a ésta, se han definido los parámetros según los datos proporcionados por el estudio geotécnico, ver *tabla 7*.

Información del estudio geotécnico	
Tensión admisible del terreno en situaciones persistentes	3kp/cm ²
Tensión admisibles del terreno en situaciones sísmicas y accidentales	3,75kp/cm ²
Módulo de balasto	3600t/m ³

Tabla 7: Datos del terreno suministrados por el estudio geotécnico

Las vigas perimetrales de la losa son de 30cm de ancho y 40cm de canto, ver *figura 38*.

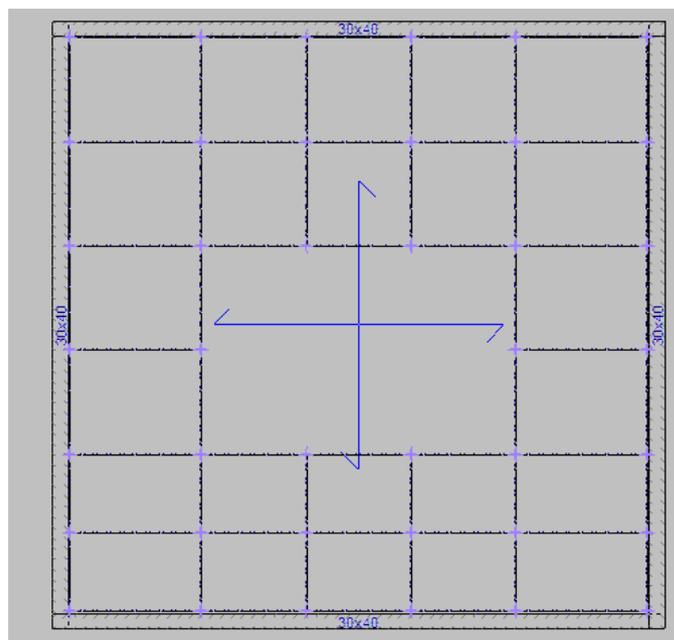


Figura 38: Losa de cimentación más las vigas perimetrales

Tras incluir la dimensión de la losa y las vigas se procede a colocar la armadura base superior e inferior.

La armadura superior vendrá dimensionada por:

- Armadura superior longitudinal $\varnothing 12$ mm cada 20 cm
- Armadura superior transversal $\varnothing 12$ mm cada 20 cm

La armadura inferior vendrá dimensionada por:

- Armadura inferior longitudinal $\varnothing 12$ mm cada 20 cm
- Armadura inferior transversal $\varnothing 12$ mm cada 20 cm

9.2 ACCIONES CONSIDERADAS EN LA PLATAFORMA DE TRABAJO

9.2.1 CARGAS PERMANENTES

Las cargas permanentes son aquellas que actúan en todo momento y son constantes en magnitud y posición.

Las cargas permanentes están formadas por los pesos de los diferentes elementos estructurales que forman la construcción como son: el peso de la propia edificación (vigas, pilares, techos, losas, muros fijos), elementos de carpintería y revestimientos.

Estos pesos de los elementos constructivos se pueden obtener de catálogo del fabricante o del Anejo C del CTE-BD-SE en el que se incluyen el peso de los materiales constructivos típicos.

En este apartado de cargas permanentes se incluirá el peso de la rejilla electrosoldada que se utilizara como suelo de la plataforma de trabajo para que los operarios puedan realizar el experimento.

Después de consultar, se considera que la rejilla electrosoldada tendrá una pletina portante de 40mm de altura por 5mm de espesor, la luz más desfavorable de las piezas de rejilla será de 2 m, de modo que este tipo de rejilla tiene un peso de 55kg/m².

9.2.2 SOBRECARGA DE USO

La sobrecarga de uso se engloba en las acciones variables porque su valor varía frecuentemente a lo largo del tiempo.

Estas cargas son debidas al peso de todos los objetos que pueden gravitar sobre la estructura por razón de su uso. Por tanto, estos valores incluyen los efectos derivados de uso normal como: tránsito de personas, vehículos, maquinaria, mercancías habituales.

Los valores característicos de la sobrecarga de uso se contemplan en la *tabla 8*, obtenida del CTE-BD-SE.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	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 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ^{(4)/(5)}	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 8: Valores característicos de la sobrecarga de uso

Estos valores de sobrecarga de uso vendrán dados por una carga uniformemente distribuida que establece el CTE-BD-SE en función de en qué categoría de uso se englobe la estructura.

En este proyecto se ha clasificado la plataforma de trabajo en categoría de uso del tipo B (zona administrativa) porque es la categoría que más se asemeja porque no habrá mucha gente trabajando y es de uso privado.

Por tanto, se ha elegido una sobrecarga de uso de 200kg/m², pero por requerimiento del laboratorio se ha multiplicado este valor de sobrecarga por un factor de 1,5. Entonces se tendrá una sobrecarga de uso de 300kg/m².

Además de la sobrecarga de la normativa, en la plataforma de trabajo se tendrán los siguientes componentes, ver *tabla 9*.

Componente	Peso (kg)
Sistema de purificación de gas	1680
Tanque de emergencia	2000
Sistema de adquisición de datos	300
Otros sistema	200

Tabla 9: Componentes localizados en la plataforma de trabajo

Todos estos componentes se han considerado como sobrecargas porque en un momento dado pueden venir operarios para retirar estos componentes para realizar el mantenimiento de éstos.

En el caso del tanque de emergencia (deposito metálico), se ha decido multiplicar el peso del tanque por un coeficiente de 1.4 porque como el reparto no tiene por qué ser perfectamente uniforme, se mayora un poco el reparto para poder cubrir los posibles desfases de uniformidad.

9.2.3 CARGA DE SISMO

La carga de sismo se engloba dentro de las acciones accidentales porque son aquellas cuya probabilidad de actuación a lo largo de la vida útil de la estructura es pequeña pero tiene una magnitud importante.

Un sismo es un fenómeno que produce una sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación acumulada de energía en forma de ondas sísmicas. Los más comunes se producen por la actividad de fallas geológicas, también pueden ocurrir por rozamiento en el borde de placas tectónicas.

La carga sísmica a considerar depende de muchos factores como son: la importancia de la estructura, el tipo de suelo sobre el que se va a sentar la estructura, la peligrosidad sísmica de la zona (aceleración sísmica básica), coeficiente de contribución, ductilidad y el periodo de vida de la construcción entre otros.

Para esta estructura se han decidido establecer los siguientes parámetros:

- Se ha considerado una construcción de importancia especial porque se lleva años investigando y preparando este experimento, tendrá aparatos de elevada sensibilidad y el experimento lleva una inversión de muchos millones de euros.
- Según el estudio geotécnico de la zona se tiene un suelo de tipo II (roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, $750 \text{ m/s} \geq v_s > 400 \text{ m/s}$).
- En cuanto a la ductilidad se ha decido trabajar sin ductilidad, es decir, se trabajara en todo momento en el rango elástico. El motivo es estar del lado de la seguridad y simplificar las comprobaciones que establece la norma cuando se trabaja con ductilidad.
- Según la normativa, se tiene una aceleración sísmica básica de 0.07g y un coeficiente de contribución de 1.
- El periodo de vida de la estructura será mínimo de unos 10 años (tiempo que dura el experimento).

10. RESULTADOS FINALES

En la *figura 39* se muestra una imagen 3D del resultado final del diseño de la plataforma de trabajo. Además, en esta figura se incluye la losa de cimentación. Se trata de una estructura homogénea en la que todas las barras tienen la misma sección y los pilares también con el objetivo de que sea más fácil de ejecutar a nivel constructivo.

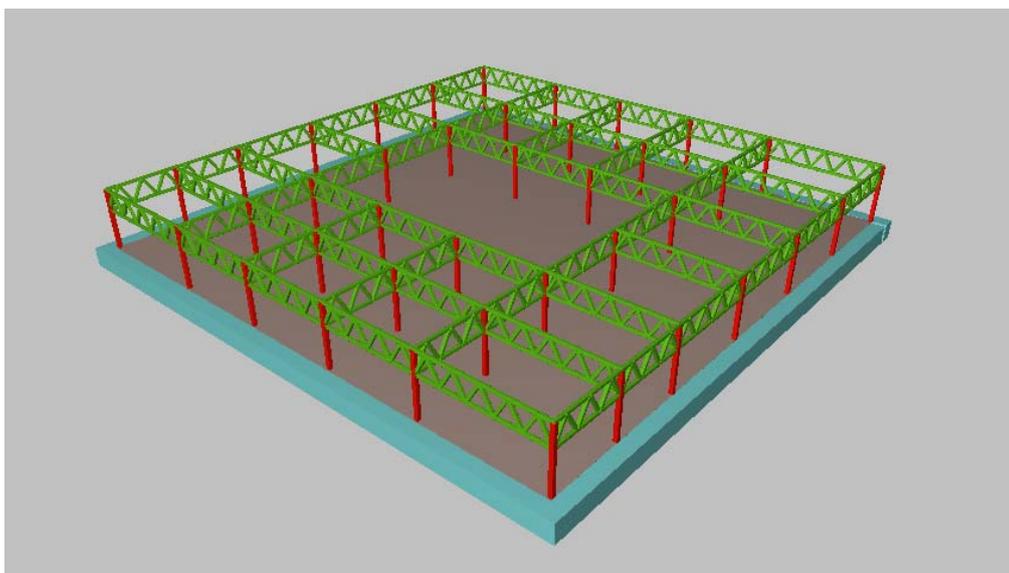


Figura 39: Plataforma de trabajo junto a su losa de cimentación

En la *tabla 10* se tabulan los coeficientes de aprovechamiento más desfavorable de cada elemento constructivo. Aunque la estructura está sobredimensionada para trabajar estáticamente, el objetivo es que sea muy rígida para evitar grandes desplazamientos ante la acción de un terremoto.

Elemento constructivo	Aprovechamiento (%)
Pilar(1)	25,44
Pilar(2)	15,46
Viga celosía cordón superior	73,99
Viga celosía cordón inferior	13,82
Viga celosía diagonal	12,70

Tabla 10: Coeficientes de aprovechamiento de los elementos constructivos.

Desde un punto de vista dinámico, la estructura es muy rígida con el objetivo de que no haya grandes desplazamientos en el caso hipotético de un terremoto. Así, el máximo desplazamiento para un suelo de tipo II es de 1,34787 mm y la máxima aceleración es de 2.538 m/s². Estos valores, de acuerdo con la normativa sismorresistente española NCSE-02, se toman para el modo de vibración que moviliza más del 30% de la masa total en ambas direcciones horizontales.

Además, como requisito impuesto por el laboratorio LSC, se analizan los modos de vibración de la estructura para los diferentes tipos de terreno que establece la NCSE-02.

Este estudio es una medida de seguridad, dada la importancia del experimento y por si se produjese un terremoto superior al que establece la norma.

Para realizar este estudio, se realiza una gráfica donde se representa el desplazamiento máximo en los modos de vibración que moviliza más del 30% de masa frente al tipo de terreno.

En la *figura 40* se muestra la gráfica comparativa en la que se observa que a medida que el terreno es más fracturado el desplazamiento de la estructura en el caso de un terremoto es mayor. Este resultado es evidente, ya que las ondas sísmicas se propagan más rápido en terrenos más fracturados y llega más energía a la cimentación de la estructura.

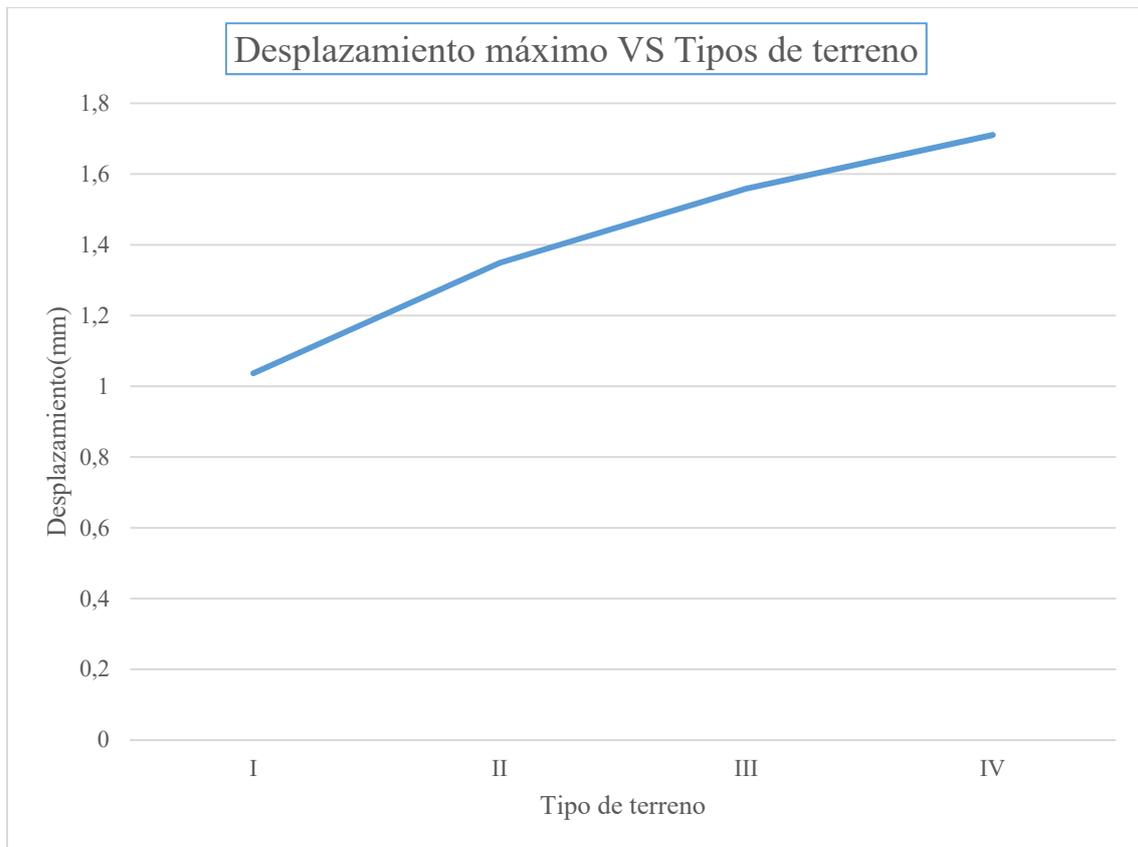


Figura 40: Desplazamiento máximo en función del tipo de terreno.

11. ESTUDIO DE FUEGO

El Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales tiene el objetivo de conseguir un grado suficiente de seguridad, en caso de incendio en los establecimientos e instalaciones de uso industrial.

La presencia del riesgo de incendio en los establecimientos industriales determina la probabilidad de que se desencadenen incendios, generadores de daño y pérdidas para las personas y patrimonios, que afectan tanto a ellos como a su entorno.

Los establecimientos industriales se caracterizarán por:

- Su configuración y ubicación con relación a su entorno.
- Su nivel de riesgo intrínseco.

11.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES POR SU CONFIGURACIÓN Y UBICACIÓN CON RELACIÓN A SU ENTORNO.

De las muy diversas configuraciones y ubicaciones que pueden tener los establecimientos industriales se consideran reducidas a: establecimientos industriales ubicados en un edificio (Tipo A, B, C) y establecimientos industriales que desarrollan su actividad en espacios abiertos que no constituyen un edificio, como establecimientos ubicados en espacios abiertos (Tipos D, E).

En el presente proyecto se ha elegido que la configuración de las instalaciones es Tipo A *ver figura 41*, en horizontal, porque el establecimiento industrial ocupa parcialmente un edificio que tiene, además, otros establecimientos, ya sean estos de uso industrial ya de otros usos. Es decir, al lado de la sala donde se realizará el experimento hay otra sala para experimentos, junto con los despachos y taller de mecánica.

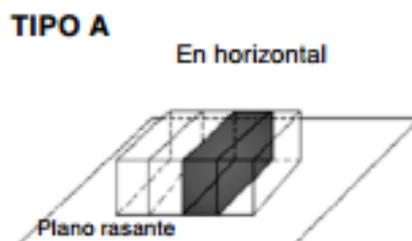


Figura 41: Configuración del establecimiento industrial Tipo A, en horizontal

11.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES POR SU NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO

Los establecimientos industriales se pueden clasificar, según su grado de riesgo intrínseco, atendiendo a los criterios simplificados y los procedimientos que se comentan a continuación.

Normalmente, los establecimientos industriales están formados por una o varias configuraciones del tipo A, B, C, D, E de modo que cada una de estas configuraciones formara lo que se conoce como sectores o áreas de incendio del establecimiento industrial.

Si se tiene los tipos A, B, C el sector de incendio se considera el espacio del edificio cerrado por elementos resistentes al fuego durante el tiempo que se establezca, según el caso.

Si se tiene tipos D, E se considera que la superficie que ocupan constituye un área de incendio abierta.

El nivel de riesgo intrínseco de cada sector de incendio se evaluara calculando la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida de dicho sector de incendio, con la siguiente expresión:

$$Q_s = \frac{\sum_i G_i q_i C_i}{A} R_a \text{ (MJ / m}^2 \text{) o (Mcal / m}^2 \text{)} \quad (1)$$

Donde:

Q_s = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m² o Mcal/m²

G_i = masa en kg, de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector i área de incendio, incluyendo los materiales de construcción si son combustibles.

q_i = poder calorífico, en MJ/kg o Mcal/kg de cada uno de los combustibles(i) que hay en el sector o área de incendio.

C_i = coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad de cada uno de los combustibles.

R_a = coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc.

A = superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m²

Además de la expresión para calcular la densidad de carga de fuego, existe otra expresión, para actividades de producción, transformación, reparación o cualquier otra distinta al almacenamiento se puede aplicar:

$$Q_s = \frac{\sum_i q_{si} S_i C_i}{A} R_a \text{ (MJ/m}^2\text{) o (Mcal/m}^2\text{)} \quad (2)$$

De esta expresión, los parámetros Q_s , A , C_i y R_a son los mismos que los de la expresión anterior.

En esta nueva expresión el parámetro q_{si} es la densidad de la carga de fuego de cada zona con proceso diferente según los distintos procesos que se realizan en el sector de incendio (i), en MJ/m^2 o Mcal/m^2 . Y el parámetro S_i es la superficie de cada zona con proceso diferente y densidad de carga de fuego, q_{si} diferente, en m^2 .

Para el cálculo de este proyecto se va a utilizar la ecuación (2) en primer lugar porque la actividad del proyecto no va a ser de almacenamiento sino que va a ser la producción o transformación, y además por comodidad de cálculo se ha decidido utilizar dicha expresión. Para dicho cálculo se han de obtener de tablas el valor de varios parámetros de la expresión.

OBTENCION DE DATOS A TRAVÉS DE TABLAS

El valor de peligrosidad por combustibilidad (C_i) se obtiene de la *tabla 11*.

VALORES DEL COEFICIENTE DE PELIGROSIDAD POR COMBUSTIBILIDAD, C_i		
ALTA	MEDIA	BAJA
<ul style="list-style-type: none"> - Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1 - Líquidos clasificados como subclase B₁, en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos capaces de iniciar su combustión a una temperatura inferior a 100 °C. - Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente. - Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Líquidos clasificados como subclase B₂ en la ITC MIE-APQ1. - Líquidos clasificados como clase C en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura comprendida entre 100 °C y 200 °C. - Sólidos que emiten gases inflamables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Líquidos clasificados como clase D en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200 °C.
$C_i = 1,60$	$C_i = 1,30$	$C_i = 1,00$

Tabla 11: Valores de peligrosidad por combustibilidad

En el caso del proyecto se va a considerar $C_i = 1$ porque no se tienen combustibles peligrosos ya que el plomo de la vasija no es peligroso como tampoco lo es el gas xenón que se utiliza para llevar a cabo el experimento.

Los valores de densidad de carga (q_{si}) y el coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad inherente que se desarrolla en el sector de incendio (R_a) para los laboratorios de física, se extraen de la siguiente tabla:

ACTIVIDAD	Fabricación y venta			Almacenamiento		
	q_s		R_a	q_v		R_a
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
Laboratorios de física	200	48	1,0			

Tabla 12: Valores de densidad de carga de fuego media y R_a , que se tienen en un laboratorio de física

Por último, cabe determinar los valores de:

- A = superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio. En el caso de la estructura será el valor de la superficie de la sala del experimento donde se va a colocar la estructura. Las dimensiones de la sala del experimento son: 40 m por 15 m, es decir, la superficie es igual a 600 m².
- S_i =superficie de cada zona con proceso diferente y densidad de carga de fuego, q_{si} diferente. En el caso de la estructura será la superficie que tiene la plataforma de trabajo de modo que la S_i tendrá un valor de 97 m²

Conociendo todos los parámetros necesarios para aplicar la ecuación (2), se obtiene que:

$$Q_s = 33\text{MJ/m}^2$$

Con este valor de densidad de carga de fuego obtenido y la siguiente tabla se puede obtener el nivel de riesgo intrínseco.

Nivel de riesgo intrínseco	Densidad de carga de fuego ponderada y corregida		
	Mcal/m ²	MJ/m ²	
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 13: Valores del nivel de riesgo intrínseco en función del valor de la densidad de carga de fuego ponderada y corregida.

Conociendo el valor de la densidad de carga de fuego y consultando la tabla anterior se puede obtener el nivel de riesgo intrínseco.

Como puede observarse en la tabla corresponde que se tiene un nivel de riesgo intrínseco BAJO 1

11.3 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 constructivo debe mantener la estabilidad mecánica.

La estabilidad ante al fuego, exigible a los elementos constructivos portantes en los sectores de incendio de un establecimiento industrial, puede determinarse con 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 14: Estabilidad al fuego de elementos estructurales portantes

Revisando todos los datos que ya se conocen, se tiene un establecimiento industrial TIPO A con un nivel de riesgo intrínseco BAJO 1 y que los operaciones van a realizar sus trabajos sobre la estructura es decir, planta sobre rasante, se obtiene que la protección mínima es de R 90 (EF-90).

11.4 SISTEMAS DE PROTECCIÓN PASIVA DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS CONTRA INCENDIOS

Los incendios constituyen un importante riesgo para la seguridad de los ocupantes de los edificios. Cuando los materiales metálicos se encuentran cerca de focos de calor, rápidamente incrementan su temperatura provocando una alteración de su comportamiento mecánico. Debido al calor se produce un incremento de su deformabilidad, una reducción del módulo de elasticidad y una disminución de su resistencia.

Para evitar todas esos problemas que genera el fuego a las estructuras metálicas se añadirá un sistema de protección adecuado. Los sistemas de protección de las estructuras metálicas se basan en recubrimientos de los perfiles con materiales aislantes, algunos de

los utilizados pueden ser: lana de roca, mortero proyectado, placas de yeso y pintura intumescente.

En el caso de la plataforma de trabajo del proyecto, se ha decidido optar por la protección de los perfiles metálicos de la estructura con pintura intumescente porque con este método no se incrementa el peso de la construcción, se puede aplicar y mantener fácilmente, tiene una fácil reparación y respeta la geometría de la estructura, además cumple con protección mínima de R 90 (EF-90).

La pintura intumescente es un material que cuando se le aplica calor, sus componentes generan una reacción química de intumescencia progresiva que da lugar a una masa carbonosa con coeficiente de transmisión térmico muy bajo (masa aislante), protegiendo al perfil.

Es decir, en caso de incendio el material se expande (aumentado el volumen) evitando la temperatura afecte al perfil.



Figura 42: Viga pintada con pintura intumescente

Mediante el software Cype 3D, se puede poner la protección mínima calculada anteriormente (R-90) y al seleccionar el método de protección pintura intumescente, el software aplica a los elementos de la estructura y calcula el espesor que se ha de aplicar.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Código Técnico de la Edificación
- Normativa de Construcción Sismorresistente NCSE-02
- V. Álvarez et al. NEXT 100: Technical design report. Journal of Instrumentation, 7 (2012)
- www.es.scribd.com (Estructuras de acero, Uniones y sistemas estructurales, Cálculo de Ramón Arguelles Álvarez)
- www.todoentramex.com

ANEXOS

CÁLCULOS ESTÁTICOS

1. CÁLCULO DE LAS BARRAS

1.1 PILAR

1.1.1 Pilar (1)

Barra N346/N344

Perfil: SHS 80x4.0		Material: Acero (S275)						
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
	N346	N344	0.837	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.			
	β	0.70	0.70	0.00	0.00			
	L _K	0.586	0.586	0.000	0.000			
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000				
C ₁	-		1.000					
Notación:								
β: Coeficiente de pandeo								
L _K : Longitud de pandeo (m)								
C _m : Coeficiente de momentos								
C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								
Situación de incendio								
Resistencia requerida: R 90								
Factor de forma: 261.29 m ⁻¹								
Temperatura máx. de la barra: 679.0 °C								
Pintura intumescente: 2.2 mm								

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _y V _z	M _z V _y
N346/N344	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 12.7	x: 0 m η = 7.7	x: 0 m η = 21.4	x: 0.418 m η = 1.7	η = 4.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 25.4	η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	CUMPLE η = 25.4
Comprobaciones que no proceden (N.P.):																
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.																
⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.																
⁽³⁾ 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 _y V _z	M _z V _y			
N346/N344	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 17.5	x: 0 m η < 0.1	x: 0.837 m η = 3.0	η < 0.1	η = 0.6	x: 0 m η < 0.1	η < 0.1	x: 0.837 m η = 20.5	η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	CUMPLE η = 20.5		
Comprobaciones que no proceden (N.P.):																
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.																
⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.																
⁽³⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Notación:																
N _t : Resistencia a tracción																
N _c : Resistencia a compresión																
M _y : Resistencia a flexión eje Y																
M _z : Resistencia a flexión eje Z																
V _z : Resistencia a corte Z																
V _y : Resistencia a corte Y																
M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados																
M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados																
NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados																
NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados																
M _t : Resistencia a torsión																
M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados																
M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados																
x: Distancia al origen de la barra																
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																
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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{0.22}$ ✓

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 cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 680.909 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} : 680.909 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 680.909 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 110.63 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 110.63 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 180.25 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 0.586 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 0.586 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 4.34 cm

$$i_0 = \left(i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 3.07 cm

i_z : 3.07 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 18.00 \leq 307.36 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \frac{72.00}{mm}$$

$$t_w : \frac{4.00}{mm}$$

$$A_w : \frac{5.76}{cm^2}$$

$$A_{fc,ef} : \frac{3.20}{cm^2}$$

$$k : \frac{0.30}$$

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

$$f_{yf} : \frac{2803.26}{kp/cm^2}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.126} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.127} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N346, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{3.950} \quad t$$

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{31.339} \quad t$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

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

$$A : \underline{11.74} \quad cm^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \quad kp/cm^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 31.022 t

Donde:

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

A : 11.74 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1} : 1.05

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.99

χ_z : 0.99

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

ϕ_y : 0.53

ϕ_z : 0.53

α : Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.49

α_z : 0.49

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_y$: 0.22

$\bar{\lambda}_z$: 0.22

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

N_{cr} : 680.909 t

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

$N_{cr,y}$: 680.909 t

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

$N_{cr,z}$: 680.909 t

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

$N_{cr,T}$: ∞

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.077 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N346, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

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

$M_{Ed}^+ : \underline{0.072} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N346, para la combinación de acciones $PP+0.3\cdot Q1+0.3\cdot SX+SY$.

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

$M_{Ed}^- : \underline{0.071} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{0.926} \text{ t}\cdot\text{m}$

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.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : \underline{34.69} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

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

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

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

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N346, para la combinación de acciones $PP+0.3\cdot Q1+SX+0.3\cdot SY$.

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

$M_{Ed}^+ : \underline{0.198} \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N346, para la combinación de acciones $PP-SX-0.3\cdot SY$.

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

$M_{Ed}^- : \underline{0.194} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd} : \underline{0.926} \text{ t}\cdot\text{m}$

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.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} : \underline{34.69} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 2803.26 kp/cm²
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.017} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.418 m del nudo N346, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.148 t

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{8.878} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 5.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma. d : 72.00 mm

t_w : Espesor del alma. t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 18.00 < \underline{64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma. λ_w : 18.00

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima. λ_{max} : 64.71

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.044} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+SX+0.3·SY.

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

$$V_{\text{Ed}} : \underline{0.406} \text{ t}$$

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

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{\text{yd}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{\text{c,Rd}} : \underline{9.215} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{5.98} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{11.74} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{72.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{\text{yd}} = f_y / \gamma_{\text{MO}}$$

Siendo:

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

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

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$20.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{20.00}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{\max} : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

$$\lambda_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

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

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

Resistencia a 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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.147 \text{ t} \leq 4.439 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.147 \text{ t}}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{8.878 \text{ t}}$$

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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.406 \text{ t} \leq 4.607 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+0.3·SX+0.3·SY.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.406 \text{ t}}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{9.215 \text{ t}}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.254} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.170} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.253} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N346, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+sx+0.3·SY.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 1.142 t

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}** : 0.005 t·m

M_{z,Ed} : 0.197 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. **N_{pl,Rd}** : 31.339 t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 0.926 t·m

M_{pl,Rd,z} : 0.926 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 11.74 cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 34.69 cm³

W_{pl,z} : 34.69 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : 1.05

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente. **C_{m,y}** : 1.00

C_{m,z} : 1.00

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **χ_y** : 0.99

χ_z : 0.99

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.22}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.22}$$

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

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 para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+0.3·SX+0.3·SY.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.406 \text{ t} \leq 4.607 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,y} : \underline{0.406} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd,y} : \underline{9.215} \text{ t}$$

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)

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.167} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.175} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N346, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

$$N_{c,Ed}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed}: \underline{1.542} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd}: \underline{9.216} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase}: \underline{1}$$

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

$$A: \underline{11.74} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd}: \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta}: \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

$$k_{y,\theta}: \underline{0.28}$$

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd}: \underline{8.805} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A: \underline{11.74} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd}: \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta}: \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

$$k_{y,\theta}: \underline{0.28}$$

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

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y: \underline{0.96}$$

$$\chi_z: \underline{0.96}$$

Siendo:

$$\phi_y: \underline{0.56}$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_z : \underline{0.56}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

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

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

$$\bar{\lambda} = k_{\lambda,\theta} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.29}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.29}$$

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

$$k_{\lambda,\theta} : \underline{1.31}$$

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

$$N_{cr} : \underline{680.909} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{680.909} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{680.909} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: 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:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

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

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N346, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t·m}$$

Para flexión negativa:

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t·m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.272} \text{ t·m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: 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_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

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

$$k_{y,\theta} : \underline{0.28}$$

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

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

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

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.030 ✓

Para flexión positiva:

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

M_{Ed}^+ : 0.000 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

M_{Ed}^- : 0.008 t·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 0.272 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 34.69 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 785.15 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$f_{y,\theta}$: 785.15 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$k_{y,\theta}$: 0.28

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

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.000 t

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd}: \underline{2.611} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 5.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma. d : 72.00 mm

t_w : Espesor del alma. t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 785.15 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\theta}$: 785.15 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$k_{y,\theta}$: 0.28

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 18.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma. λ_w : 18.00

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{\max} : Esbeltez máxima. λ_{\max} : 64.71

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción. ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia. f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.006 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

V_{Ed} : 0.017 t

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 2.710 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 5.98 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 11.74 cm²

d : Altura del alma.

d : 72.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 785.15 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$f_{y,\theta}$: 785.15 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$k_{y,\theta}$: 0.28

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

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

20.00 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 20.00

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima.

λ_{max} : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.000 \text{ t} \leq 1.306 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N346, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

V_{Ed} : 0.000 t

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

$V_{c,Rd}$: 2.611 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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.017 \text{ t} \leq 1.355 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

V_{Ed} : 0.017 t

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

$V_{c,Rd}$: 2.710 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:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.196 ✓

η : 0.193 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.205} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{1.535} \text{ t}$$

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

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

$$M_{z,Ed} : \underline{0.008} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$N_{pl,Rd} : \underline{9.216} \text{ t}$$

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.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{0.272} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.272} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$f_{yd} : \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

f_{y,θ}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

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

k_{y,θ}: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.28}$$

γ_{M,θ}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.02}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.02}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.96}$$

$$\chi_z : \underline{0.96}$$

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.29}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.29}$$

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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·Q1.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.017 \text{ t} \leq 1.355 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

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

$$V_{c,Rd,y} : \underline{2.710} \text{ t}$$

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.

1.1.2 Pilar (2)

Barra N344/N345

Perfil: SHS 80x4.0 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N344	N345	0.433	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.	
β	0.70	0.70	0.00	0.00		
L _k	0.303	0.303	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						
Situación de incendio						
Resistencia requerida: R 90						
Factor de forma: 261.29 m ⁻¹						
Temperatura máx. de la barra: 679.0 °C						
Pintura intumescente: 2.2 mm						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_{w}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N344/N345	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0 m $\lambda_{w} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 5.5	x: 0 m η = 15.3	η = 1.3	η = 3.6	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 15.5	x: 0 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	CUMPLE η = 15.5
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (3) 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			
N344/N345	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 0.5	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 3.0	η < 0.1	η = 0.7	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 3.5	x: 0 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	CUMPLE η = 3.5		
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (3) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Notación: N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.11 ✓

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 cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 2544.050 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} : 2544.050 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 2544.050 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_o^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 110.63 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 110.63 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 180.25 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 0.303 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 0.303 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : 4.34 cm

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 3.07 cm

i_z : 3.07 cm

y_o , z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : 0.00 mm

z_o : 0.00 mm

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:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

18.00 ≤ 307.36 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>72.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>4.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>5.76</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>3.20</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2803.26</u> kp/cm ²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : <u>0.117</u> t
---	--

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

N_{c,Rd} = A · f _{yd}	N_{c,Rd} : <u>31.339</u> 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** : 11.74 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{Mo}** : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

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

$\bar{\lambda}$: 0.11

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

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

A: 11.74 cm²

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

f_y: 2803.26 kp/cm²

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

N_{cr}: 2544.050 t

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

N_{cr,y}: 2544.050 t

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

N_{cr,z}: 2544.050 t

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

N_{cr,T}: ∞

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.055 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+0.3·SX+SY.

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

M_{Ed}⁺: 0.051 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻: 0.051 t·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

M_{c,Rd}: 0.926 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

W_{pl,y}: 34.69 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

f_y: 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.153 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP-SX-0.3-SY.

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

M_{Ed}^+ : 0.136 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+SX+0.3·SY.

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

M_{Ed}^- : 0.142 t·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 0.926 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 34.69 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.013 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

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

V_{Ed} : 0.118 t

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 8.878 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 5.76 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 72.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

18.00 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 18.00

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

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

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.036 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+SX+0.3·SY.

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

V_{Ed} : 0.327 t

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 9.215 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 5.98 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta. A : 11.74 cm²

d : Altura del alma. d : 72.00 mm

t_w : Espesor del alma. t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{MO} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$20.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma. λ_w : 20.00

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima. λ_{max} : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción. ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia. f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.118 \text{ t} \leq 4.439 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.118 t

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

$$V_{c,Rd} : \underline{8.878} \text{ t}$$

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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.327 \text{ t} \leq 4.607 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+SX+0.3·SY.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.327} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{9.215} \text{ t}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.155} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.093} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.154} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+SX-0.3·SY.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.033} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.142} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$N_{pl,Rd} : \underline{31.339} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: 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.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : 1.05$$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : 1.00$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : 1.00$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : 1.00$$

$$C_{m,z} : 1.00$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : 1.00$$

$$\chi_z : 1.00$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : 0.11$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.11$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : 0.60$$

$$\alpha_z : 0.60$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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 el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+sx+0.3·SY.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.327 \text{ t} \leq 4.607 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,y} : 0.327 \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd,y} : 9.215 \text{ t}$$

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)

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.005 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$N_{c,Ed}$: 0.050 t

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 9.216 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 : 11.74 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 785.15 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$f_{y,\theta}$: 785.15 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$k_{y,\theta}$: 0.28

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

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

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

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

$\bar{\lambda}$: 0.15

$$\bar{\lambda} = k_{\lambda,\theta} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.	A : <u>11.74</u> cm ²
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>2803.26</u> kp/cm ²
k_{λ,θ}: Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.	k_{λ,θ} : <u>1.31</u>
N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:	N_{cr} : <u>2544.050</u> t
N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.	N_{cr,y} : <u>2544.050</u> t
N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	N_{cr,z} : <u>2544.050</u> t
N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	N_{cr,T} : <u>∞</u>

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:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \qquad \eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}⁺ :** 0.000 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}⁻ :** 0.000 t·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \qquad M_{c,Rd} : \underline{0.272} \text{ t·m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **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 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd} :** 785.15 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

f_{y,θ}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. **f_{y,θ} :** 785.15 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y :** 2803.26 kp/cm²

k_{y,θ}: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. **k_{y,θ} :** 0.28

γ_{M,θ}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M,θ} :** 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:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.030 ✓

Para flexión positiva:

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

M_{Ed}^+ : 0.000 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

M_{Ed}^- : 0.008 t·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 0.272 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 34.69 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 785.15 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$f_{y,\theta}$: 785.15 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$k_{y,\theta}$: 0.28

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

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

V_{Ed} : 0.000 t

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{2.611} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{5.76} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{72.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot K_{y,\theta}$$

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.

$$K_{y,\theta} : \underline{0.28}$$

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$18.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.00}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{\text{máx}}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\text{máx}} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\text{máx}} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.019 t

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{2.710} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 5.98 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta. A : 11.74 cm²

d : Altura del alma. d : 72.00 mm

t_w : Espesor del alma. t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 785.15 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\theta}$: 785.15 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot K_{y,\theta}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

$K_{y,\theta}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. $K_{y,\theta}$: 0.28

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

$$\frac{b}{t_r} < 70 \cdot \varepsilon \quad 20.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma. λ_w : 20.00

$$\lambda_w = \frac{b}{t_r}$$

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción. ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia. f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.000 \text{ t} \leq 1.306 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.000} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{2.611} \text{ t}$$

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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.019 \text{ t} \leq 1.355 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.019} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{2.710} \text{ t}$$

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:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.035}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.023}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.035}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{0.050} \text{ t}$
 $M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{z,Ed} : \underline{0.008} \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : $\underline{1}$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : \underline{9.216} \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{0.272} \text{ t}\cdot\text{m}$
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{0.272} \text{ t}\cdot\text{m}$

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. $f_{yd} : \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\theta} : \underline{785.15} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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. $k_{y,\theta} : \underline{0.28}$

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

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y} : \underline{1.00}$

$C_{m,z} : \underline{1.00}$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\chi_y : \underline{1.00}$
 $\chi_z : \underline{1.00}$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : \underline{0.15}$
 $\bar{\lambda}_z : \underline{0.15}$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección. $\alpha_y : \underline{0.60}$
 $\alpha_z : \underline{0.60}$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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 el nudo N344,
para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.019 \text{ t} \leq 1.355 \text{ t}$$



Donde:

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

$$V_{Ed,y} : \frac{0.019}{t}$$

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

$$V_{c,Rd,y} : \frac{2.710}{t}$$

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.

1.2 VIGA CELOSÍA CORDÓN SUPERIOR LUZ 2.5M

Barra N353/N351

Perfil: SHS 60x4.0																													
Material: Acero (S275)																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Nudos</th> <th rowspan="2">Longitud (m)</th> <th colspan="4">Características mecánicas</th> </tr> <tr> <th>Inicial</th> <th>Final</th> <th>Área (cm²)</th> <th>I_y⁽¹⁾ (cm⁴)</th> <th>I_z⁽¹⁾ (cm⁴)</th> <th>I_t⁽²⁾ (cm⁴)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N353</td> <td>N351</td> <td>0.500</td> <td>8.54</td> <td>43.28</td> <td>43.28</td> <td>72.48</td> </tr> </tbody> </table>	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				Inicial	Final	Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	N353	N351	0.500	8.54	43.28	43.28	72.48								
	Nudos		Longitud (m)		Características mecánicas																								
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)																						
	N353	N351	0.500	8.54	43.28	43.28	72.48																						
	<p>Notas:</p> <p>⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado</p> <p>⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme</p>																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Pandeo</th> <th colspan="2">Pandeo lateral</th> </tr> <tr> <th>Plano XY</th> <th>Plano XZ</th> <th>Ala sup.</th> <th>Ala inf.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>β</td> <td>0.90</td> <td>0.90</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>L_k</td> <td>0.450</td> <td>0.450</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> </tr> <tr> <td>C_m</td> <td>1.000</td> <td>1.000</td> <td>1.000</td> <td>1.000</td> </tr> <tr> <td>C₁</td> <td colspan="2">-</td> <td colspan="2">1.000</td> </tr> </tbody> </table>		Pandeo		Pandeo lateral		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	β	0.90	0.90	0.00	0.00	L _k	0.450	0.450	0.000	0.000	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000	C ₁	-		1.000	
		Pandeo		Pandeo lateral																									
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.																									
β	0.90	0.90	0.00	0.00																									
L _k	0.450	0.450	0.000	0.000																									
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000																									
C ₁	-		1.000																										
<p>Notación:</p> <p>β: Coeficiente de pandeo</p> <p>L_k: Longitud de pandeo (m)</p> <p>C_m: Coeficiente de momentos</p> <p>C₁: Factor de modificación para el momento crítico</p>																													
<p>Situación de incendio</p> <p>Resistencia requerida: R 90</p> <p>Factor de forma: 265.53 m-1</p> <p>Temperatura máx. de la barra: 684.5 °C</p> <p>Pintura intumescente: 2.2 mm</p>																													

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N353/N351	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	η = 0.5	η = 12.3	x: 0 m η = 8.2	x: 0.5 m η = 69.4	x: 0 m η = 9.0	η = 1.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.5 m η = 74.0	η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE η = 74.0
<p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <p>⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.</p> <p>⁽²⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p>																
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			
N353/N351	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 16.7	x: 0 m η = 10.5	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η = 11.7	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m η = 27.4	η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE η = 27.4		
<p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <p>⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.</p> <p>⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.</p> <p>⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.</p> <p>⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p> <p>⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.</p> <p>⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p>																
<p>Notación:</p> <p>N_t: Resistencia a tracción</p> <p>N_c: Resistencia a compresión</p> <p>M_y: Resistencia a flexión eje Y</p> <p>M_z: Resistencia a flexión eje Z</p> <p>V_z: Resistencia a corte Z</p> <p>V_y: Resistencia a corte Y</p> <p>M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados</p> <p>M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados</p> <p>NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados</p> <p>NM_yM_zV_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados</p> <p>M_t: Resistencia a torsión</p> <p>M_tV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados</p> <p>M_tV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados</p> <p>x: Distancia al origen de la barra</p> <p>η: Coeficiente de aprovechamiento (%)</p> <p>N.P.: No procede</p>																

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.23 ✓

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 : 8.54 cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 451.515 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 451.515 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 451.515 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 43.28 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 43.28 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 72.48 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 0.450 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 0.450 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : 3.18 cm

$$i_0 = \left(i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 2.25 cm

i_z : 2.25 cm

y_o , z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : 0.00 mm

z_o : 0.00 mm

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:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 13.00 \leq 301.61 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>52.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>4.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>4.16</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>2.40</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2803.26</u> kp/cm ²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+SX+0.3·SY.

N_{t,Ed} : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	N_{t,Ed} : <u>0.106</u> t
---	--

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{t,Rd} : \underline{22.795} \text{ t}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>8.54</u> cm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2669.77</u> kp/cm ²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>2803.26</u> kp/cm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.121} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.123} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{2.762} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{22.795} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{22.444} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

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

$$\chi_z : \underline{0.98}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.53}$$

$$\phi_z : \underline{0.53}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

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

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.23}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

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

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

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

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

$$\bar{\lambda}_z : 0.23$$

$$N_{cr} : 451.515 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 451.515 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 451.515 \text{ t}$$

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.082 \checkmark$$

Para flexión positiva:

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

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

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N353, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

$$M_{Ed}^- : 0.041 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 0.503 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : 18.85 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

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

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : 1.05$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.694 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N351, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

$$M_{Ed}^+ : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{Ed}^+ : \underline{0.349} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N351, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+0.3·SX+SY.

$$M_{Ed}^- : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{Ed}^- : \underline{0.349} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd} \quad M_{c,Rd} : \underline{0.503} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

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

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.090} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N353, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

$$V_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.580} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{6.412} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{4.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{52.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.00 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 13.00

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima.

λ_{max} : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.019 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

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

V_{Ed} : 0.126 t

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 6.749 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 4.38 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 8.54 cm²

d : Altura del alma.

d : 52.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

15.00 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 15.00

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima.

λ_{max} : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

0.580 t ≤ 3.206 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

V_{Ed} : 0.580 t

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

$V_{c,Rd}$: 6.412 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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.126 \text{ t} \leq 3.374 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.126} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{6.749} \text{ t}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.740}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.463}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.734}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N351, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.682} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.008} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.349} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$N_{pl,Rd} : \underline{22.795} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{0.503} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.503} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : 1.05$$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : 1.00$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : 1.00$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : 1.00$$

$$C_{m,z} : 1.00$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : 0.98$$

$$\chi_z : 0.98$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : 0.23$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.23$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : 0.60$$

$$\alpha_z : 0.60$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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·Q1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.580 \text{ t} \leq 3.206 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : 0.580 \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : 6.412 \text{ t}$$

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)

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.158} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.167} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{1.012} \quad t$$

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{6.391} \quad t$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

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

$$A : \underline{8.54} \quad \text{cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \quad \text{kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \quad \text{kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

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

$k_{y,\theta}$: 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 pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{6.057} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

f_{y,θ}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

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

k_{y,θ}: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\theta} : \underline{0.27}$$

γ_{M,θ}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.95}$$

$$\chi_z : \underline{0.95}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.57}$$

$$\phi_z : \underline{0.57}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

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

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = k_{\lambda,\theta} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.30}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.30}$$

k_{λ,θ}: Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{\lambda,\theta} : \underline{1.31}$$

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

$$N_{cr} : \underline{451.515} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{451.515} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{451.515} \text{ t}$$

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:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.105} \checkmark$$

Para flexión positiva:

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

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

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N353, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.015} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.141} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot K_{y,\theta}$$

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 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:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.117} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N353, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.210} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{1.798} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 4.16 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 52.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 748.49 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$f_{y,\theta}$: 748.49 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$k_{y,\theta}$: 0.27

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.00 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 13.00

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{\max} : Esbeltez máxima.

λ_{\max} : 64.71

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte 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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.210 \text{ t} \leq 0.899 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.210} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{1.798} \text{ t}$$

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 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:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.263} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.274} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.231} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N353, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{1.012} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.015} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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.

$$N_{pl,Rd} : \underline{6.391} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{0.141} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.141} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,0} / \gamma_{M,0}$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\theta} : 748.49 \text{ kp/cm}^2$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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. $k_{y,\theta} : 0.27$

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

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : 1.02$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : 1.02$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y} : 1.00$
 $C_{m,z} : 1.00$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\chi_y : 0.95$
 $\chi_z : 0.95$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : 0.30$
 $\bar{\lambda}_z : 0.30$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección. $\alpha_y : 0.60$
 $\alpha_z : 0.60$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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·Q1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.210 \text{ t} \leq 0.899 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,z} : 0.210 \text{ t}$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,z} : 1.798 \text{ t}$

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.

1.3 VIGA CELOSÍA CORDÓN INFERIOR LUZ 2.5M

Barra N352/N350

Perfil: SHS 60x4.0		Material: Acero (S275)						
	Nudos		Longitud	Características mecánicas				
	Inicial	Final	(m)	Área	$I_y^{(1)}$	$I_z^{(1)}$	$I_t^{(2)}$	
	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)				
	N352	N350	0.500	8.54	43.28	43.28	72.48	
	Notas:							
	⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado							
	⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral					
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
	β	1.94	0.90	0.00	0.00			
L_K	0.970	0.450	0.000	0.000				
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000				
C_1	-		1.000					
Notación:								
β : Coeficiente de pandeo								
L_K : Longitud de pandeo (m)								
C_m : Coeficiente de momentos								
C_1 : Factor de modificación para el momento crítico								
Situación de incendio								
Resistencia requerida: R 90								
Factor de forma: 265.53 m ⁻¹								
Temperatura máx. de la barra: 684.5 °C								
Pintura intumescente: 2.2 mm								

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$		$M_t V_y$
N352/N350	$\bar{\lambda} \leq 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 11.9$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 1.9$	x: 0.5 m $\eta = 0.1$	x: 0.5 m $\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 13.8$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	CUMPLE $\eta = 13.8$
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⁾ 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	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_y$			
N352/N350	$\eta = 15.6$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0.25 m $\eta = 2.5$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 0.5 m $\eta = 0.1$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.25 m $\eta = 18.0$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 18.0$		
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⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.																
⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Notación:																
N: Resistencia a tracción																
N _c : Resistencia a compresión																
M _y : Resistencia a flexión eje Y																
M _z : Resistencia a flexión eje Z																
V _z : Resistencia a corte Z																
V _y : Resistencia a corte Y																
M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados																
M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados																
N M _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados																
N M _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados																
M _t : Resistencia a torsión																
M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados																
M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados																
x: Distancia al origen de la barra																
η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																
N.P.: No procede																

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 traccionadas no debe superar el valor 3.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.50 ✓

Donde:

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

A : 8.54 cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 97.175 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} : 451.515 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 97.175 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_o^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 43.28 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 43.28 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 72.48 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 0.450 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 0.970 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : 3.18 cm

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 2.25 cm

i_z : 2.25 cm

y_o , **z_o**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : 0.00 mm

z_o : 0.00 mm

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:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$13.00 \leq 301.61$ ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 52.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 4.00 mm

A_w : Área del alma.

A_w : 4.16 cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$: 2.40 cm²

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E : Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.119 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

$N_{t,Ed}$: 2.717 t

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 22.795 t

Donde:

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

A : 8.54 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 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)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.019 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N352, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

M_{Ed}^+ : 0.010 t·m

Para flexión negativa:

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

M_{Ed}^- : 0.000 t·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 0.503 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 18.85 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N350, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+0.3·SX+SY.

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

M_{Ed}^+ : 0.000 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N350, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

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

M_{Ed}^- : 0.000 t·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 0.503 t·m

Donde:

Clase : 1

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

Siendo:

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

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

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N350, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.004} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{6.412} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{4.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{52.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

Siendo:

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

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

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$13.00 < 64.71 \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 13.00

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{\max} : Esbeltez máxima.

λ_{\max} : 64.71

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

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

V_{Ed} : 0.000 t

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

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{\text{c,Rd}}$: 6.749 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 4.38 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 8.54 cm²

d : Altura del alma.

d : 52.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$15.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{15.00}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.003 \text{ t} \leq 3.206 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP-SX-0.3-SY.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.003} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{6.412} \text{ t}$$

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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.000 \text{ t} \leq 3.374 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.3-Q1-0.3-SX-SY.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.000} \text{ t}$$

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

$V_{c,Rd}$: 6.749 t

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.138 ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η < 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N352, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

Donde:

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

$N_{t,Ed}$: 2.717 t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+$: 0.010 t·m

$M_{z,Ed}^+$: 0.000 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$N_{pl,Rd}$: 22.795 t

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$: 0.503 t·m

$M_{pl,Rd,z}$: 0.503 t·m

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

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

$M_{ef,Ed}$: 0.000 t·m

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$\sigma_{com,Ed}$: 0.00 kp/cm²

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A} < 0 \rightarrow \sigma_{com,Ed} = 0$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$W_{y,com}$: 18.85 cm³

A: Área de la sección bruta.

A : 8.54 cm²

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$M_{b,Rd,y}$: 0.503 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 PP-SX-0.3·SY.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.003 \text{ t} \leq 3.206 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{0.003} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{6.412} \text{ t}$$

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:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.156} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{0.995} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{6.391} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

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

$$k_{y,\theta} : \underline{0.27}$$

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

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)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.025 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N352, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

M_{Ed}^+ : 0.003 t·m

Para flexión negativa:

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

M_{Ed}^- : 0.000 t·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 0.141 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 18.85 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 748.49 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$f_{y,\theta}$: 748.49 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$k_{y,\theta}$: 0.27

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

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

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N350, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.002} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{1.798} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{4.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{52.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot K_{y,\theta}$$

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.

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

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$13.00 < \underline{64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{13.00}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.
 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²
 f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y - 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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.002 \text{ t} \leq 0.899 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP.

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

V_{Ed} : 0.002 t

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

$V_{c,Rd}$: 1.798 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:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.180 ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$\eta < 0.001$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N352, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

Donde:

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

$N_{t,Ed}$: 0.995 t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+$: 0.003 t·m

$M_{z,Ed}^+$: 0.000 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$N_{pl,Rd}$: 6.391 t

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$: 0.141 t·m

$M_{pl,Rd,z}$: 0.141 t·m

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

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

$M_{ef,Ed}$: 0.000 t·m

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida. $\sigma_{com,Ed} : 0.00 \text{ kp/cm}^2$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A} < 0 \rightarrow \sigma_{com,Ed} = 0$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$W_{y,com} : 18.85 \text{ cm}^3$

A : Área de la sección bruta.

$A : 8.54 \text{ cm}^2$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$M_{b,Rd,y} : 0.141 \text{ t}\cdot\text{m}$

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.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.002 \text{ t} \leq 0.899 \text{ t}$$



Donde:

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

$V_{Ed,z} : 0.002 \text{ t}$

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

$V_{c,Rd,z} : 1.798 \text{ t}$

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.

1.4 DIAGONAL VIGA CELOSÍA LUZ 2.5M

Barra N344/N347

Perfil: SHS 60x4.0		Material: Acero (S275)					
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N344	N347	0.500	8.54	43.28	43.28	72.48
	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	0.76	0.76	0.00	0.00			
L _K	0.380	0.380	0.000	0.000			
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000			
C ₁	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							
Situación de incendio							
Resistencia requerida: R 90							
Factor de forma: 265.53 m-1							
Temperatura máx. de la barra: 684.5 °C							
Pintura intumescente: 2.2 mm							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _i	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N344/N347	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.25 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 0.5 m $\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 12.7$	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.25 m $\eta = 12.7$	N.P. ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 12.7$
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) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (6) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO														Estado	
	N _i	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _y V _z	M _z V _y			
N344/N347	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 17.4$	x: 0.25 m $\eta = 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.25 m $\eta = 17.5$	N.P. ⁽⁵⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁷⁾	CUMPLE $\eta = 17.5$		
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (7) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Notación: N _i : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.19 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

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

A : 8.54 cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 633.184 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} : 633.184 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 633.184 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 43.28 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 43.28 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 72.48 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 0.380 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 0.380 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 3.18 cm

$$i_0 = \left(i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 2.25 cm

i_z : 2.25 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$13.00 \leq 301.61 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \underline{52.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{4.16} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{2.40} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N347, para la combinación de acciones PP-SX-0.3-SY.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{0.100} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{22.795} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

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

γ_{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:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.127} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

$N_{c,Ed}$: 2.892 t

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 22.795 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: 8.54 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

f_y: 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0}: 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

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

$\bar{\lambda}$: 0.19

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

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

A: 8.54 cm²

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

f_y: 2803.26 kp/cm²

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

N_{cr}: 633.184 t

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

N_{cr,y}: 633.184 t

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

N_{cr,z}: 633.184 t

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

N_{cr,T}: ∞

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta < \underline{0.001}$ ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones 1.35-PP.

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

M_{Ed}⁺: 0.000 t·m

Para flexión negativa:

M_{Ed} : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed} : 0.000 t·m

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

$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$ $M_{c,Rd}$: 0.503 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase**: 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$: 18.85 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a 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)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.001 t

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd}$$
: 6.412 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 4.16 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma. d : 52.00 mm

t_w : Espesor del alma. t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{MO} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.00 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 13.00

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima.

λ_{max} : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte 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)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.127 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : 0.127 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.127} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 2.890 t
M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}⁺** : 0.000 t·m
M_{z,Ed}⁺ : 0.000 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. **N_{pl,Rd}** : 22.795 t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 0.503 t·m
M_{pl,Rd,z} : 0.503 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 8.54 cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 18.85 cm³
W_{pl,z} : 18.85 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : 1.05

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente. **C_{m,y}** : 1.00

C_{m,z} : 1.00

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **χ_y** : 1.00

χ_z : 1.00

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. **λ̄_y** : 0.19

λ̄_z : 0.19

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección. **α_y** : 0.60

α_z : 0.60

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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)

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.169 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.174 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$N_{c,Ed}$: 1.082 t

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 6.391 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 : 8.54 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 748.49 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

f_{y,θ}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

f_{y,θ} : 748.49 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

$k_{y,\theta}$: 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 pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{6.210} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.97}$$

$$\chi_z : \underline{0.97}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

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

$$\phi_z : \underline{0.55}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

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

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

$$\bar{\lambda} = k_{\lambda,\theta} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

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

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

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

$$k_{\lambda,\theta} : \underline{1.31}$$

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

$$N_{cr} : \underline{633.184} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{633.184} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{633.184} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: 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:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

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

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones PP.

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

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

Para flexión negativa:

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

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

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.141} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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 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:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.001} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{1.798} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. $A_v : \underline{4.16} \text{ cm}^2$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma. $d : \underline{52.00} \text{ mm}$

t_w : Espesor del alma. $t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 13.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma. $\lambda_w : \underline{13.00}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{\max} : Esbeltez máxima. $\lambda_{\max} : \underline{64.71}$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción. $\varepsilon : \underline{0.92}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia. $f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$

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

Resistencia a corte Y - 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)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.170} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.175} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.174} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 1.081 t

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}** : 0.000 t·m

M_{z,Ed} : 0.000 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. **N_{pl,Rd}** : 6.391 t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 0.141 t·m

M_{pl,Rd,z} : 0.141 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 8.54 cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 18.85 cm³

W_{pl,z} : 18.85 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 748.49 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

f_{y,θ}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. **f_{y,θ}** : 748.49 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

k_{y,θ}: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. **k_{y,θ}** : 0.27

γ_{M,θ}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M,θ}** : 1.00

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.01}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.97}$$

$$\chi_z : \underline{0.97}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

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

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

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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.

1.5 VIGA CELOSÍA CORDÓN SUPERIOR LUZ 2M

Barra N331/N329

Perfil: SHS 60x4.0		Material: Acero (S275)					
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N331	N329	0.500	8.54	43.28	43.28	72.48
	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	0.90	0.90	0.00	0.00		
	L _k	0.450	0.450	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							
Situación de incendio							
Resistencia requerida: R 90 Factor de forma: 265.53 m ⁻¹ Temperatura máx. de la barra: 684.5 °C Pintura intumescente: 2.2 mm							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE												Estado			
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z		M _t	M _t V _z	M _t V _y
N331/N329	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	η = 2.0	η = 2.9	x: 0.5 m η = 4.2	x: 0.5 m η = 36.0	x: 0.5 m η = 4.3	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.5 m η = 37.8	η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE η = 37.8
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
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		
N331/N329	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 3.2	x: 0.5 m η = 5.9	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.5 m η = 6.0	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.5 m η = 9.1	x: 0 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE η = 9.1		
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (6) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Notación: N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																

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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

η : 0.23 ✓

Donde:

Clase : 1

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

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

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

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

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

$$N_{cr} : \underline{451.515} \text{ t}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{451.515} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{451.515} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_o^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{43.28} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{43.28} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{72.48} \text{ cm}^4$$

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.

$$L_{ky} : \underline{0.450} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{0.450} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_o : \underline{3.18} \text{ cm}$$

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_o^2 + z_o^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{2.25} \text{ cm}$$

y_o , z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$13.00 \leq 301.61 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>52.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>4.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>4.16</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>2.40</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2803.26</u> kp/cm ²
Siendo:	
$f_{yf} = f_y$	

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.020} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP-SX-0.3-SY.

$$N_{t,Ed}: \text{Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{t,Ed} : \underline{0.458} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{t,Rd} : \underline{22.795} \text{ t}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>8.54</u> cm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2669.77</u> kp/cm ²
$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>2803.26</u> kp/cm ²
γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{MO} : <u>1.05</u>

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.029} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.029} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+SX+0.3·SY.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.650} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{22.795} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{22.444} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

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

$$\chi_z : \underline{0.98}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.53}$$

$$\phi_z : \underline{0.53}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

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

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.23}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.23}$$

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

$$N_{cr} : \underline{451.515} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{451.515} \text{ t}$$

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

$N_{cr,z}$: 451.515 t

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

$N_{cr,T}$: ∞

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.042 ✓

Para flexión positiva:

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

M_{Ed}^+ : 0.000 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N329, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

M_{Ed}^- : 0.021 t·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 0.503 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 18.85 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.360 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N329, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

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

M_{Ed}^+ : 0.181 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N329, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+0.3·SX+SY.

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

M_{Ed} : 0.181 t·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 0.503 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 18.85 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.043 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N329, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

V_{Ed} : 0.274 t

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 6.412 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 4.16 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 52.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 13.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{13.00}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.000} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{6.749} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{4.38} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{52.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{MO} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$15.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 15.00

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima.

λ_{max} : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.274 \text{ t} \leq 3.206 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

V_{Ed} : 0.274 t

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

$V_{c,Rd}$: 6.412 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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.000 \text{ t} \leq 3.374 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-0.3·SX-SY.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.000} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{6.749} \text{ t}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.378} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.234} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.373} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N329, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1+0.3·SX+SY.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.137} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.006} \text{ t·m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.181} \text{ t·m}$$

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.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{22.795} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{0.503} \text{ t·m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.503} \text{ t·m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y} : \underline{1.00}$
 $C_{m,z} : \underline{1.00}$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\chi_y : \underline{0.98}$
 $\chi_z : \underline{0.98}$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : \underline{0.23}$
 $\bar{\lambda}_z : \underline{0.23}$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección. $\alpha_y : \underline{0.60}$
 $\alpha_z : \underline{0.60}$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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·Q1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad 0.274 \text{ t} \leq 3.206 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,z} : \underline{0.274} \text{ t}$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,z} : \underline{6.412} \text{ t}$

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)

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.030} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.191} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{6.391} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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 pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{6.057} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.95}$$

$$\chi_z : \underline{0.95}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.57}$$

$$\phi_z : \underline{0.57}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

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

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

$$\bar{\lambda} = k_{\lambda,\theta} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.30}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.30}$$

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

$$k_{\lambda,\theta} : \underline{1.31}$$

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

$$N_{cr} : \underline{451.515} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{451.515} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{451.515} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: 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:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.059} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

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

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

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N329, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.008} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.141} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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 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:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.060} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N329, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.107} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{1.798} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{4.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{52.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{748.49 \text{ kp/cm}^2}$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$f_{y,\theta} : \underline{748.49 \text{ kp/cm}^2}$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

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

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$13.00 < 64.71$ ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$\lambda_w : \underline{13.00}$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima.

$\lambda_{max} : \underline{64.71}$

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$\varepsilon : \underline{0.92}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

Resistencia a corte Y - 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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$0.107 \text{ t} \leq 0.899 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N331, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : 0.107 t

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V_{c,Rd}** : 1.798 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:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.089} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.091} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.067} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N329, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 0.191 t

M_{y,Ed}, **M_{z,Ed}**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según **M_{y,Ed}** : 0.008 t·m

los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{z,Ed}** : 0.000 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de **Clase** : 1

desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. **N_{pl,Rd}** : 6.391 t

M_{pl,Rd,y}, **M_{pl,Rd,z}**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones **M_{pl,Rd,y}** : 0.141 t·m

plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,z}** : 0.141 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. **A** : 8.54 cm²

W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 18.85 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **W_{pl,z}** : 18.85 cm³

f_{yd} : 748.49 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

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

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.95}$$

$$\chi_z : \underline{0.95}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.30}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.30}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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 el nudo N331, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.107 \text{ t} \leq 0.899 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{0.107} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{1.798} \text{ t}$$

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.

1.6 VIGA CELOSÍA CORDÓN INFERIOR LUZ 2M

Barra N344/N342

Perfil: SHS 60x4.0 Material: Acero (S275)							
Nudos	Inicial	Final	Longitud (m)	Características mecánicas			
				Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N344	N342		0.500	8.54	43.28	43.28	72.48
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	1.94	0.90	0.00	0.00		
	L _k	0.970	0.450	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							
Situación de incendio							
Resistencia requerida: R 90 Factor de forma: 265.53 m-1 Temperatura máx. de la barra: 684.5 °C Pintura intumescente: 2.2 mm							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_{w1}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N344/N342	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.25 m $\lambda_{w1} \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	η = 0.5	η = 6.6	x: 0.5 m η = 0.3	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.5 m η = 0.1	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.5 m η = 6.7	x: 0.25 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE η = 6.7
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 _z	M _t	M _y V _z	M _z V _y			
N344/N342	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 9.6	x: 0.5 m η = 0.2	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.5 m η = 0.1	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0.25 m η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.5 m η = 9.8	x: 0.25 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE η = 9.8		
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (6) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Notación: N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.50 ✓

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 : 8.54 cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 97.175 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} : 451.515 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 97.175 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 43.28 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 43.28 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 72.48 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 0.450 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 0.970 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 3.18 cm

$$i_0 = \left(i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 2.25 cm

i_z : 2.25 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$13.00 \leq 301.61 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \underline{52.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{4.16} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{2.40} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP-SX-0.3-SY.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{0.104} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{22.795} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

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

γ_{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:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.055} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.066} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{1.263} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{22.795} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{19.263} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

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

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

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

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

$$\chi_z : \underline{0.85}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.53}$$

$$\phi_z : \underline{0.70}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

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

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.23}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.50}$$

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

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

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

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

$$N_{cr} : \underline{97.175} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{451.515} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{97.175} \text{ t}$$

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.003} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N342, para la combinación de acciones PP+SX+0.3·SY.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N342, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-SX-0.3·SY.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.503} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

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

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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.

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N342, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-SX-0.3·SY.

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

V_{Ed} : 0.005 t

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 6.412 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 4.16 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

d : 52.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 4.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

13.00 < 64.71 ✓

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 13.00

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima.

λ_{max} : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte 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 es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.003 \text{ t} \leq 3.206 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-SX-0.3·SY.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.003} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{6.412} \text{ t}$$

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)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.057} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.058} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.067} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N342, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{1.263} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase: 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta.

N_{pl,Rd}: 22.795 t

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{pl,Rd,y}: 0.503 t·m

M_{pl,Rd,z}: 0.503 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

A: 8.54 cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

W_{pl,y}: 18.85 cm³

W_{pl,z}: 18.85 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Limite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y: 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1}: 1.05

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

k_y: 1.00

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

k_z: 1.02

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y}: 1.00

C_{m,z}: 1.00

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y: 0.98

χ_z: 0.85

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

λ̄_y: 0.23

λ̄_z: 0.50

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y: 0.60

α_z: 0.60

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.3·Q1-SX-0.3·SY.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

0.003 t ≤ 3.206 t ✓

Donde:

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

V_{Ed,z}: 0.003 t

V_{c,Rd,z}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{c,Rd,z}: 6.412 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)

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.072 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.096 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$N_{c,Ed}$: 0.463 t

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 6.391 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 : 8.54 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 748.49 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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 pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{4.818} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.95}$$

$$\chi_z : \underline{0.75}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.57}$$

$$\phi_z : \underline{0.82}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

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

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

$$\bar{\lambda} = k_{\lambda,\theta} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.30}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.65}$$

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

$$k_{\lambda,\theta} : \underline{1.31}$$

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

$$N_{cr} : \underline{97.175} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{451.515} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{97.175} \text{ t}$$

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

$N_{cr,T}$: ∞

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:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.002 ✓

Para flexión positiva:

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

M_{Ed}^+ : 0.000 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N342, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

M_{Ed}^- : 0.000 t·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 0.141 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y}$: 18.85 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 748.49 kp/cm²

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$f_{y,\theta}$: 748.49 kp/cm²

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

$k_{y,\theta}$: 0.27

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

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

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N342, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.003} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{1.798} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{4.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{52.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

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

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$13.00 < \underline{64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{13.00}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{\max} : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

Resistencia a corte Y - 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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.001 \text{ t} \leq 0.899 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.001} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{1.798} \text{ t}$$

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 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:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.075} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.079} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.098} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N342, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.463} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

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

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

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.

$$N_{pl,Rd} : \underline{6.391} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{0.141} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.141} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

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

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.04}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.95}$$

$$\chi_z : \underline{0.75}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.30}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.65}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones PP.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.000 \text{ t} \leq 0.899 \text{ t}$$



Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{0.000}{1} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{1.798}{2} \text{ t}$$

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.

1.7 DIAGONAL VIGA CELOSÍA LUZ 2M

Barra N344/N343

Perfil: SHS 60x4.0		Material: Acero (S275)					
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N344	N343	0.500	8.54	43.28	43.28	72.48
	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	0.76	0.76	0.00	0.00		
	L _k	0.380	0.380	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000			
C ₁	-		1.000				
Notación:							
β: Coeficiente de pandeo							
L _k : Longitud de pandeo (m)							
C _m : Coeficiente de momentos							
C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							
Situación de incendio							
Resistencia requerida: R 90							
Factor de forma: 265.53 m-1							
Temperatura máx. de la barra: 684.5 °C							
Pintura intumescente: 2.2 mm							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_{wv}	N _t	N _c	M _v	M _z	V _z	V _v	M _v V _z	M _z V _v	NM _v M _z	NM _v M _z V _v V _z	M _t	M _v V _z	M _v V _v	
N344/N343	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.25 m $\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv,max}$ Cumple	x: 0.5 m $\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 6.5$	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0.25 m $\eta = 6.5$	N.P. ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 6.5$
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⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.																
⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO															Estado
	N _t	N _c	M _v	M _z	V _z	V _v	M _v V _z	M _z V _v	NM _v M _z	NM _v M _z V _v V _z	M _t	M _v V _z	M _v V _v			
N344/N343	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 9.4$	x: 0.25 m $\eta = 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.25 m $\eta = 9.4$	N.P. ⁽⁵⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁷⁾	CUMPLE $\eta = 9.4$		
Comprobaciones que no proceden (N.P.):																
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.																
⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.																
⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.																
⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
⁽⁶⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.																
⁽⁷⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Notación:																
N _t : Resistencia a tracción																
N _c : Resistencia a compresión																
M _v : Resistencia a flexión eje Y																
M _z : Resistencia a flexión eje Z																
V _v : Resistencia a corte Y																
M _v V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados																
M _z V _v : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados																
NM _v M _z : Resistencia a flexión y axil combinados																
NM _v M _z V _v V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados																
M _t : Resistencia a torsión																
M _v V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados																
M _v V _v : 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.19} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

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

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

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{633.184} \text{ t}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{633.184} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{633.184} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{43.28} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{43.28} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{72.48} \text{ cm}^4$$

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.

$$L_{ky} : \underline{0.380} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{0.380} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_o : \underline{3.18} \text{ cm}$$

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{2.25} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{2.25} \text{ cm}$$

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$13.00 \leq 301.61 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \underline{52.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{4.16} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{2.40} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N343, para la combinación de acciones PP+SX+0.3·SY.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{0.090} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{22.795} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.065 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

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

$N_{c,Ed}$: 1.481 t

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 22.795 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 : 8.54 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces $\bar{\lambda} \leq 0.2$ se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

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

$\bar{\lambda}$: 0.19

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Donde:

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

A : 8.54 cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

N_{cr} : 633.184 t

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

N_{cr,y} : 633.184 t

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

N_{cr,z} : 633.184 t

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

N_{cr,T} : ∞

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

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

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

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

Para flexión negativa:

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

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

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.503} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

Siendo:

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

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

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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.

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.001} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{6.412} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{4.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{52.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

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

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

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$13.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{13.00}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{max} : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

Resistencia a corte Y - 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)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.065} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.065} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.065} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1.

Donde:

N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : $\frac{1.479}{t}$
M_{y,Ed}, M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed}⁺ : $\frac{0.000}{t \cdot m}$ M_{z,Ed}⁺ : $\frac{0.000}{t \cdot m}$
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : $\frac{1}{}$
N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : $\frac{22.795}{t}$
M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : $\frac{0.503}{t \cdot m}$ M_{pl,Rd,z} : $\frac{0.503}{t \cdot m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A : Área de la sección bruta.	A : $\frac{8.54}{cm^2}$
W_{pl,y}, W_{pl,z} : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	W_{pl,y} : $\frac{18.85}{cm^3}$ W_{pl,z} : $\frac{18.85}{cm^3}$
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : $\frac{2669.77}{kp/cm^2}$
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : $\frac{2803.26}{kp/cm^2}$
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M1} : $\frac{1.05}{}$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

C_{m,y}, C_{m,z} : Factores de momento flector uniforme equivalente.	C_{m,y} : $\frac{1.00}{}$ C_{m,z} : $\frac{1.00}{}$
---	--

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.19}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.19}$$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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)

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.091} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.094} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.582} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{6.391} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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 pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{6.210} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.97}$$

$$\chi_z : \underline{0.97}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

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

$$\phi_z : \underline{0.55}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

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

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

$$\bar{\lambda} = k_{\lambda,\theta} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$k_{\lambda,\theta}$: 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.

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

$$\bar{\lambda}_z : 0.26$$

$$k_{\lambda,\theta} : 1.31$$

$$N_{cr} : 633.184 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 633.184 \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : 633.184 \text{ t}$$

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

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:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.001 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones PP.

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

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

Para flexión negativa:

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

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

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : 0.141 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : 18.85 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 748.49 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : 748.49 \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

$$k_{y,\theta} : 0.27$$

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

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

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:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N344, para la combinación de acciones PP.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.001} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{1.798} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{4.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{52.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

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

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$13.00 < \underline{64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{13.00}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{\max} : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

$$\lambda_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

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

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

Resistencia a corte Y - 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)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.092} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.094} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.094} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.250 m del nudo N344, para la combinación de acciones PP+0.5·Q1.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.580} \text{ t}$$

$$M_{y,Ed} : \underline{0.000} \text{ t·m}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

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

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.

$$N_{pl,Rd} : \underline{6.391} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{0.141} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.141} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{18.85} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{y,\theta} / \gamma_{M,\theta}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\theta} : \underline{748.49} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{y,\theta} = f_y \cdot k_{y,\theta}$$

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.

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

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.01}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.97}$$

$$\chi_z : \underline{0.97}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

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

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

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - 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.

2. CÁLCULO DE LAS PLACAS DE ANCLAJES

2.1 PLACA ANCLAJE PILAR ESQUINERO

Comprobaciones

Referencia: -Placa base: Ancho X: 200 mm Ancho Y: 200 mm Espesor: 15 mm -Pernos: 4Ø8 mm L=20 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Por vuelo final 0.0 mm Posición Y: Por vuelo final 0.0 mm		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 24 mm Calculado: 160 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 12 mm Calculado: 21 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 12 mm Calculado: 20 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 20 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 1.394 t Calculado: 0.46 t Máximo: 0.976 t Calculado: 0.106 t Máximo: 1.394 t Calculado: 0.611 t	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 1.304 t Calculado: 0.46 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 3883.31 kp/cm ² Calculado: 958.244 kp/cm ²	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 6.407 t Calculado: 0.106 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 2669.77 kp/cm ² Calculado: 0 kp/cm ² Calculado: 1104.28 kp/cm ² Calculado: 0 kp/cm ² Calculado: 749.351 kp/cm ²	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 100000 Calculado: 371.811 Calculado: 100000 Calculado: 574.174	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 ² Calculado: 0 kp/cm ²	Cumple

Referencia: -Placa base: Ancho X: 200 mm Ancho Y: 200 mm Espesor: 15 mm -Pernos: 4Ø8 mm L=20 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Por vuelo final 0.0 mm Posición Y: Por vuelo final 0.0 mm		
Comprobación	Valores	Estado
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.0476		

2.2 PLACA ANCLAJE PILAR PERIMETRAL

Comprobaciones

Referencia: -Placa base: Ancho X: 200 mm Ancho Y: 200 mm Espesor: 15 mm -Pernos: 4Ø8 mm L=20 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Por vuelo inicial 0.0 mm Posición Y: Centrada		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 24 mm Calculado: 160 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 12 mm Calculado: 40 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 12 mm Calculado: 20 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 20 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 1.394 t Calculado: 0.596 t Máximo: 0.976 t Calculado: 0.108 t Máximo: 1.394 t Calculado: 0.75 t	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 1.304 t Calculado: 0.596 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 3883.31 kp/cm ² Calculado: 1243.48 kp/cm ²	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 6.407 t Calculado: 0.108 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 2669.77 kp/cm ² Calculado: 1636.04 kp/cm ² Calculado: 0 kp/cm ² Calculado: 379.162 kp/cm ² Calculado: 380.851 kp/cm ²	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha:	Mínimo: 250 Calculado: 265.195	Cumple

Referencia: -Placa base: Ancho X: 200 mm Ancho Y: 200 mm Espesor: 15 mm -Pernos: 4Ø8 mm L=20 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Por vuelo inicial 0.0 mm Posición Y: Centrada		
Comprobación	Valores	Estado
- Izquierda:	Calculado: 100000	Cumple
- Arriba:	Calculado: 3948.24	Cumple
- Abajo:	Calculado: 3682.59	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2669.77 kp/cm ² Calculado: 0 kp/cm ²	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.0613		

2.3 PLACA ANCLAJE PILAR CENTRAL

Comprobaciones

Referencia: -Placa base: Ancho X: 200 mm Ancho Y: 200 mm Espesor: 15 mm -Pernos: 4Ø8 mm L=20 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 24 mm Calculado: 160 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 12 mm Calculado: 57 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 12 mm Calculado: 20 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 15 cm Calculado: 20 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 1.394 t Calculado: 0.512 t	Cumple
- Cortante:	Máximo: 0.976 t Calculado: 0.102 t	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 1.394 t Calculado: 0.657 t	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 1.304 t Calculado: 0.512 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 3883.31 kp/cm ² Calculado: 1083.48 kp/cm ²	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 6.407 t Calculado: 0.102 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 2669.77 kp/cm ²	
- Derecha:	Calculado: 951.204 kp/cm ²	Cumple

Referencia: -Placa base: Ancho X: 200 mm Ancho Y: 200 mm Espesor: 15 mm -Pernos: 4Ø8 mm L=20 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada		
Comprobación	Valores	Estado
- Izquierda:	Calculado: 907.602 kp/cm ²	Cumple
- Arriba:	Calculado: 481.3 kp/cm ²	Cumple
- Abajo:	Calculado: 482.75 kp/cm ²	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>		
	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 1130.61	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 1176.05	Cumple
- Arriba:	Calculado: 2740.38	Cumple
- Abajo:	Calculado: 2867.24	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>		
	Máximo: 2669.77 kp/cm ²	
	Calculado: 0 kp/cm ²	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.0485		

3. COMPROBACIÓN DE LA CIMENTACIÓN

3.1 COMPROBACIÓN DE LA LOSA DE HORMIGÓN

En este punto se comprobará si la losa que hay instalada en el laboratorio cumple adecuadamente cuando se instala sobre ella la plataforma de trabajo.

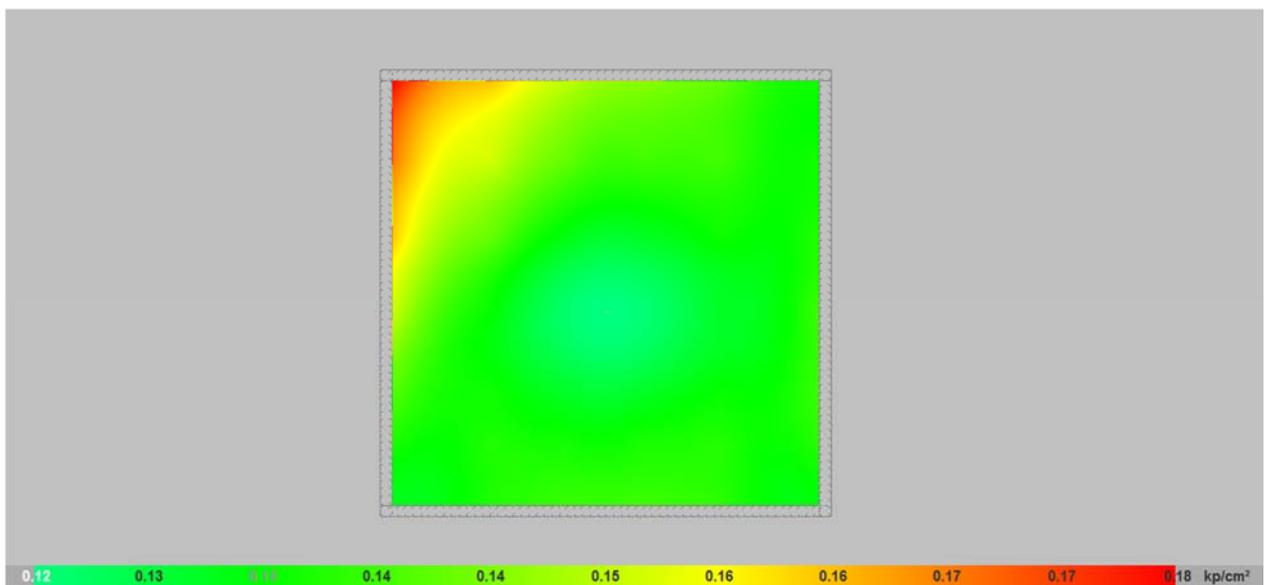


Figura 1: Tensiones transmitidas al terreno

En la *Figura 1* se observa como la tensión admisible que se pone sobre la losa es muy inferior a la tensión admisible del terreno de modo que no habrá problema alguno en instalar la plataforma de trabajo sobre la losa que hay construida en el laboratorio.

3.2 COMPROBACIÓN DE LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN

Respecto a las vigas de cimentación que se colocan en todo el perímetro de la losa de cimentación, se obtiene que también cumple con su función.

Cimentación

Tensión admisible en situaciones persistentes: 3.00 kp/cm²

Tensión admisible en situaciones accidentales: 3.75 kp/cm²

Situaciones persistentes o transitorias					
Viga			Tensión media (kp/cm ²)	Tensión en bordes (kp/cm ²)	Estado
Pórtico	Tramo	Dimensión			
1	B1-B2	30x40	0.14	0.14	Cumple
2	B0-B3	30x40	0.17	0.17	Cumple
3	B1-B0	30x40	0.17	0.18	Cumple
4	B2-B3	30x40	0.14	0.14	Cumple

Situaciones accidentales					
Viga			Tensión media (kp/cm ²)	Tensión en bordes (kp/cm ²)	Estado
Pórtico	Tramo	Dimensión			
1	B1-B2	30x40	0.14	0.14	Cumple
2	B0-B3	30x40	0.18	0.18	Cumple
3	B1-B0	30x40	0.18	0.18	Cumple
4	B2-B3	30x40	0.14	0.14	Cumple

Cabe destacar que la comprobación de estas vigas de cimentación no llega a ser del todo realista porque en el proyecto no se han estudiado la colocación de los muros perimetrales que rodea la plataforma de trabajo, de modo que seguramente la tensión en los bordes de las vigas de cimentación sería mayor. Pero parece ser que estas vigas servirían para asentar sobre ellas los muros porque la tensión que tiene sin los muros está muy por debajo de la admisible.

CÁLCULOS DINÁMICOS

1. SISMO

Norma utilizada: NCSE-02

Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02

Método de cálculo: Análisis mediante espectros de respuesta (NCSE-02, 3.6.2)

1.1. DATOS GENERALES DE SISMO

Caracterización del emplazamiento

a_b: Aceleración básica (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)

a_b : 0.070 g

K: Coeficiente de contribución (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)

K : 1.00

Tipo de suelo (NCSE-02, 2.4): Tipo II

Sistema estructural

Ductilidad (NCSE-02, Tabla 3.1): Sin ductilidad

Ω: Amortiguamiento (NCSE-02, Tabla 3.1)

Ω : 4.00 %

Tipo de construcción (NCSE-02, 2.2): Construcciones de importancia especial

Parámetros de cálculo

Número de modos de vibración que intervienen en el análisis: Según norma

Fracción de sobrecarga de uso

: 1.00

Fracción de sobrecarga de nieve

: 0.00

Se realiza análisis de los efectos de 2º orden

Valor para multiplicar los desplazamientos 1.00

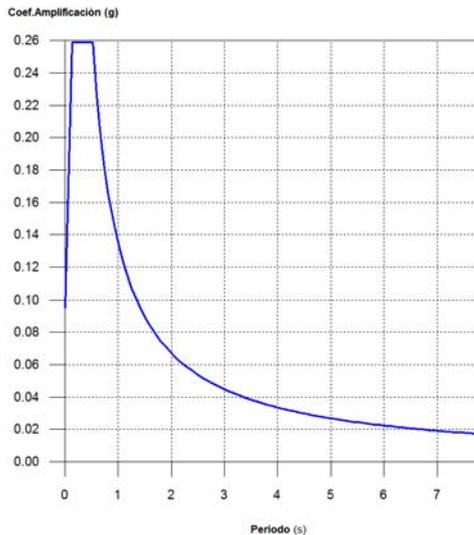
Direcciones de análisis

Acción sísmica según X

Acción sísmica según Y

1.2. ESPECTRO DE CÁLCULO

1.2.1. ESPECTRO ELÁSTICO DE ACELERACIONES



Coef. Amplificación:

$$S_{ae} = a_c \cdot \alpha(T)$$

Donde:

$$\alpha(T) = 1 + (2,5 \cdot v - 1) \cdot \frac{T}{T_A} \quad T < T_A$$

$$\alpha(T) = 2,5 \cdot v \quad T_A \leq T \leq T_B$$

$$\alpha(T) = \frac{K \cdot C}{T} \cdot v \quad T > T_B$$

es el espectro normalizado de respuesta elástica.

El valor máximo de las ordenadas espectrales es 0.259 g.

NCSE-02 (2.2, 2.3 y 2.4)

Parámetros necesarios para la definición del espectro

a_c : Aceleración sísmica de cálculo (NCSE-02, 2.2)

a_c : 0.095 g

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

a_b : Aceleración básica (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)

a_b : 0.070 g

ρ : Coeficiente adimensional de riesgo

ρ : 1.30

Tipo de construcción: Construcciones de importancia especial

S : Coeficiente de amplificación del terreno (NCSE-02, 2.2)

S : 1.04

$$S = \frac{C}{1,25}$$

$$\rho \cdot a_b \leq 0,1g$$

$$S = \frac{C}{1,25} + 3,33 \cdot (\rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0,1) \cdot (1 - \frac{C}{1,25})$$

$$0,1g < \rho \cdot a_b < 0,4g$$

$$S = 1,0$$

$$0,4g \leq \rho \cdot a_b$$

C : Coeficiente del terreno (NCSE-02, 2.4)

C : 1.30

Tipo de suelo (NCSE-02, 2.4): Tipo II

a_b : Aceleración básica (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)

a_b : 0.070 g

ρ : Coeficiente adimensional de riesgo

ρ : 1.30

v : Coeficiente dependiente del amortiguamiento (NCSE-02, 2.5)

v : 1.09

$$v = \left(\frac{5}{\Omega} \right)^{0,4}$$

Ω : Amortiguamiento (NCSE-02, Tabla 3.1)

Ω : 4.00 %

T_A : Periodo característico del espectro (NCSE-02, 2.3)

T_A : 0.13 s

$$T_A = \frac{K \cdot C}{10}$$

K : Coeficiente de contribución (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)

K : 1.00

C : Coeficiente del terreno (NCSE-02, 2.4)

C : 1.30

Tipo de suelo (NCSE-02, 2.4): Tipo II

T_B : Periodo característico del espectro (NCSE-02, 2.3)

T_B : 0.52 s

$$T_B = \frac{K \cdot C}{2,5}$$

K : Coeficiente de contribución (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)

K : 1.00

C : Coeficiente del terreno (NCSE-02, 2.4)

C : 1.30

Tipo de suelo (NCSE-02, 2.4): Tipo II

1.2.2. ESPECTRO DE DISEÑO DE ACELERACIONES

El espectro de diseño sísmico se obtiene reduciendo el espectro elástico por el coeficiente (β) correspondiente a cada dirección de análisis.

$$S_a = a_c \cdot \left(1 + \left(2,5 \cdot \frac{v}{\mu} - 1 \right) \cdot \frac{T}{T_A} \right) \quad T < T_A$$

$$S_a = a_c \cdot 2,5 \cdot \frac{v}{\mu} \quad T_A \leq T \leq T_B$$

$$S_a = a_c \cdot \frac{K \cdot C}{T} \cdot \frac{v}{\mu} \quad T > T_B$$

β : Coeficiente de respuesta

β : 1.09

$$\beta = \frac{v}{\mu}$$

v : Coeficiente dependiente del amortiguamiento (NCSE-02, 2.5)

v : 1.00

$$v = \left(\frac{5}{\Omega} \right)^{0,4}$$

Ω : Amortiguamiento (NCSE-02, Tabla 3.1)

Ω : 4.00 %

μ : Coeficiente de comportamiento por ductilidad (NCSE-02, 3.7.3.1)

μ : 1.00

Ductilidad (NCSE-02, Tabla 3.1): Sin ductilidad

a_c : Aceleración sísmica de cálculo (NCSE-02, 2.2)

a_c : 0.095 g

K : Coeficiente de contribución (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)

K : 1.00

C : Coeficiente del terreno (NCSE-02, 2.4)

C : 1.30

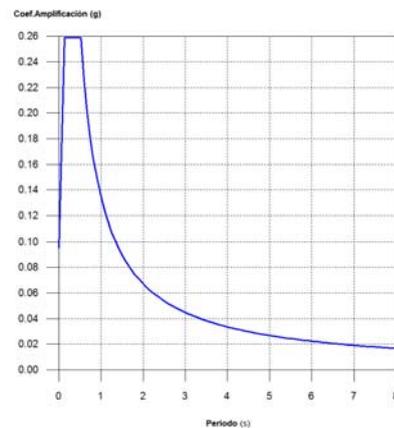
T_A : Periodo característico del espectro (NCSE-02, 2.3)

T_A : 0.13 s

T_B : Periodo característico del espectro (NCSE-02, 2.3)

T_B : 0.52 s

NCSE-02 (3.6.2.2)



1.3. COEFICIENTES DE PARTICIPACIÓN

Modo	T	L _x	L _y	M _x	M _y	Hipótesis X(1)	Hipótesis Y(1)
Modo 1	0.501	0	1	0 %	10.4 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 16.1294 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 16.1294 mm
Modo 2	0.430	0	1	0 %	13.37 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 11.8845 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 11.8845 mm
Modo 3	0.424	0.0001	1	0 %	0.79 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 11.5496 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 11.5496 mm
Modo 4	0.398	0	1	0 %	4.29 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 10.198 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 10.198 mm
Modo 5	0.363	0	1	0 %	12.92 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 8.49185 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 8.49185 mm
Modo 6	0.356	0	1	0 %	2.31 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 8.1686 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 8.1686 mm
Modo 7	0.354	0.0037	1	0 %	0 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 8.05412 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 8.05412 mm
Modo 8	0.333	0	1	0 %	3.45 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 7.14943 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 7.14943 mm
Modo 9	0.332	0	1	0 %	2.64 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 7.07053 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 7.07053 mm
Modo 10	0.309	0	1	0 %	2.38 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 6.1483 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 6.1483 mm
Modo 11	0.308	0	1	0 %	2.31 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 6.08714 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 6.08714 mm
Modo 12	0.276	0	1	0 %	2.02 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 4.87961 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 4.87961 mm
Modo 13	0.240	0	1	0 %	12.23 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 3.70004 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 3.70004 mm
Modo 14	0.231	0.0003	1	0 %	0.02 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 3.42741 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 3.42741 mm

Modo 15	0.228	0	1	0 %	2.08 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 3.34324 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 3.34324 mm
Modo 16	0.222	0	1	0 %	1.31 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 3.15464 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 3.15464 mm
Modo 17	0.220	0	1	0 %	1.07 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 3.12344 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 3.12344 mm
Modo 18	0.205	0	1	0 %	6.3 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 2.68937 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 2.68937 mm
Modo 19	0.199	0.0017	1	0 %	0 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 2.53712 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 2.53712 mm
Modo 20	0.195	0	1	0 %	0.66 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 2.43402 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 2.43402 mm
Modo 21	0.183	0.0001	1	0 %	3.2 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 2.15602 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 2.15602 mm
Modo 22	0.169	0.0005	1	0 %	0.14 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.82775 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.82775 mm
Modo 23	0.168	0.0001	1	0 %	2.91 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.81997 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.81997 mm
Modo 24	0.163	0.0013	1	0 %	0.02 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.70696 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.70696 mm
Modo 25	0.162	0.0094	1	0 %	0 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.69027 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.69027 mm
Modo 26	0.162	0.0005	1	0 %	0.15 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.68203 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.68203 mm
Modo 27	0.148	0.0043	1	0 %	3.2 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.40622 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.40622 mm
Modo 28	0.145	1	0.0007	38.99 %	0 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.34787 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.34787 mm
Modo 29	0.144	0.0878	0.9961	0 %	0.06 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.32894 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.32894 mm

Modo 30	0.140	0.0033	1	0 %	0.08 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.25817 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.25817 mm
Modo 31	0.139	0.0001	1	0 %	0.1 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.23883 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.23883 mm
Modo 32	0.138	0.0032	1	0 %	0 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.22676 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.22676 mm
Modo 33	0.138	0.0748	0.9972	0 %	0 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.2222 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.2222 mm
Modo 34	0.131	1	0.0001	11.64 %	0 %	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.09626 mm	R = 1 A = 2.538 m/s ² D = 1.09626 mm
Modo 35	0.127	0.004	1	0 %	0.31 %	R = 1 A = 2.499 m/s ² D = 1.01817 mm	R = 1 A = 2.499 m/s ² D = 1.01817 mm
Modo 36	0.121	1	0.0002	22.12 %	0 %	R = 1 A = 2.424 m/s ² D = 0.89633 mm	R = 1 A = 2.424 m/s ² D = 0.89633 mm
Modo 37	0.115	1	0.0001	24.07 %	0 %	R = 1 A = 2.355 m/s ² D = 0.79199 mm	R = 1 A = 2.355 m/s ² D = 0.79199 mm
Total				96.82 %	90.72 %		

T: Periodo de vibración en segundos.

L_x, L_y: Coeficientes de participación normalizados en cada dirección del análisis.

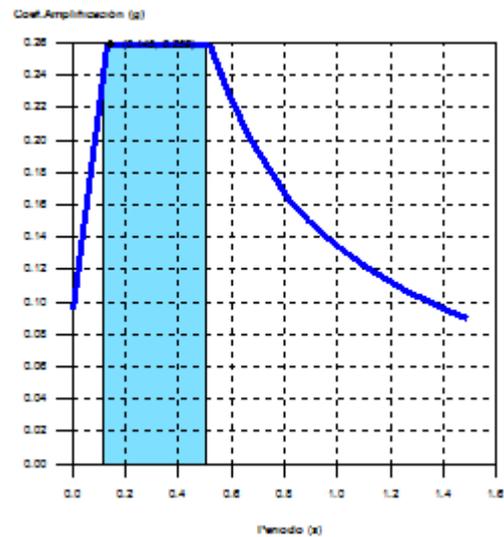
M_x, M_y: Porcentaje de masa desplazada por cada modo en cada dirección del análisis.

R: Relación entre la aceleración de cálculo usando la ductilidad asignada a la estructura y la aceleración de cálculo obtenida sin ductilidad.

A: Aceleración de cálculo, incluyendo la ductilidad.

D: Coeficiente del modo. Equivale al desplazamiento máximo del grado de libertad dinámico.

Representación de los periodos modales



Se representa el rango de periodos abarcado por los modos estudiados, con indicación de los modos en los que se desplaza más del 30% de la masa:

Hipótesis Sismo 1		
Hipótesis modal	T (s)	A (g)
Modo 28	0.145	0.259

PLIEGO DE CONDICIONES

1. DISPOSICIONES GENERALES

Las disposiciones de carácter general, las relativas a trabajos y materiales, así como las recepciones de edificios y obras anejas, se regirán por lo expuesto en el Pliego de Cláusulas Particulares para contratos con la Administración Pública correspondiente, según lo dispuesto en la Ley 3/2011, de Contratos del Sector Público (LCSP).

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 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación".

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 "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación" 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 "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación".

2.1.2 EL PROYECTISTA

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 la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación", cada proyectista 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 director de obra, 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 AGENTES QUE INTERVIENEN EN LA OBRA

La relación de agentes intervinientes se encuentra en la memoria descriptiva del proyecto.

2.3 AGENTES EN MATERIA DE SEGURIDAD Y SALUD

La relación de agentes intervinientes en materia de seguridad y salud se encuentra en la memoria descriptiva del proyecto.

2.4 AGENTES EN MATERIA DE GESTIÓN DE RESIDUOS

La relación de agentes intervinientes en materia de gestión de residuos, se encuentra en el Estudio de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición.

2.5 LA DIRECCIÓN FACULTATIVA

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.

2.6 VISITAS FACULTATIVAS

Son las realizadas a la obra de manera conjunta o individual por cualquiera de los miembros que componen la Dirección Facultativa. La intensidad y número de visitas dependerá de los cometidos que a cada agente le son propios, pudiendo variar en función de los requerimientos específicos y de la mayor o menor exigencia presencial requerible al técnico al efecto en cada caso y según cada una de las fases de la obra. Deberán adaptarse al proceso lógico de construcción, pudiendo los agentes ser o no coincidentes en la obra en función de la fase concreta que se esté desarrollando en cada momento y del cometido exigible a cada cual.

2.7 OBLIGACIONES DE LOS AGENTES INTERVINIENTES

Las obligaciones de los agentes que intervienen en la edificación son las contenidas en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación" y demás legislación aplicable.

2.7.1 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 "Real Decreto 1627/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y de 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.

2.7.2 EL PROYECTISTA

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 director de obra 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 director de obra 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 director de obra 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.

2.7.3 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 "Real Decreto 1627/1997. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción".

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 Instrucciones del 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 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 director de ejecución material de la obra 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 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 la "Ley 38/1999. 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).

2.7.4 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, conllevan 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 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 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 al contratista y/o acudir a las autoridades judiciales, siendo responsable el contratista de las consecuencias legales y económicas.

2.7.5 EL DIRECTOR DE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA

Corresponde al director de ejecución material de la obra, según se establece en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación" 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 director de obra o 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 la especificación 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 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 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 director de la ejecución de la obra, 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.

2.7.6 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 la obra.

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.

2.7.7 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.

2.7.8 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.

2.8 DOCUMENTACIÓN FINAL DE OBRA: LIBRO DEL EDIFICIO

De acuerdo a la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación", una vez finalizada la obra, el proyecto con la incorporación, en su caso, de las modificaciones debidamente aprobadas, será facilitado al promotor por el director de obra para la formalización de los correspondientes trámites administrativos.

A dicha documentación se adjuntará, al menos, el acta de recepción, la relación identificativa de los agentes que han intervenido durante el proceso de edificación, así como la relativa a las instrucciones de uso y mantenimiento del edificio y sus instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación.

Toda la documentación a que hacen referencia los apartados anteriores, que constituirá el **Libro del Edificio**, será entregada a los usuarios finales del edificio.

2.8.1 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

Se registrarán por lo expuesto en el Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares para contratos con la Administración Pública correspondiente, según lo dispuesto en la Ley 3/2011, de Contratos del Sector Público (LCSP).

4. PLIEGO DE CONDICIONES DE LOS MATERIALES

4.1. ACERO EN PILARES

UNIDAD DE OBRA EAS010: 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 la 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.

4.2. ACERO EN VIGAS

UNIDAD DE OBRA EAV010: 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.

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 la 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.

4.3 PLACA DE ANCLAJE CON PERNOS ATORNILLADOS CON ARANDELA, TUERCA Y CONTRATUERCA

UNIDAD DE OBRA EAS006: PLACA DE ANCLAJE CON PERNOS
ATORNILLADOS CON ARANDELAS, TUERCA Y CONTRATUERCA

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 de placa de anclaje de acero **UNE-EN 10025 S275JR** en perfil plano, de **200x200** mm y espesor **1.5** mm, y montaje sobre **4** pernos de **acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S** de **8** mm de diámetro y **20** cm de longitud total, embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento. Incluso p/p de limpieza y preparación de la superficie soporte, taladro central, nivelación, relleno del espacio resultante entre el hormigón endurecido y la placa con mortero autonivelante expansivo, aplicación de una protección anticorrosiva a las tuercas y extremos de los pernos, 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

DEL CONTRATISTA

Presentará para su aprobación, al director de la ejecución de la obra, el programa de montaje de la estructura, basado en las indicaciones del Proyecto.

PROCESO DE EJECUCIÓN

FASES DE EJECUCIÓN

Limpieza y preparación de la superficie de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación. Relleno con mortero. Aplicación de la protección anticorrosiva.

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.

4.4 PAVIEMENTO DE REJILLA ELECTROSOLDADA UNIDAD DE OBRA EAE100: PAVIMENTO DE REJILLA ELECTROSOLDADA.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Suministro y montaje de pavimento de **rejilla electrosoldada antideslizante de 30x30 mm de paso de malla, acabado galvanizado en caliente, realizada con pletinas portantes de acero laminado UNE-EN 10025 S235JR, en perfil plano laminado en caliente, de 40x5 mm, separadas 30 mm entre sí, separadores de varilla cuadrada retorcida, de acero con bajo contenido en carbono UNE-EN ISO 16120-2 C4D, de 8 mm de lado, separados 30 mm entre sí y marco de acero laminado UNE-EN 10025 S235JR, en perfil omega laminado en caliente, de 40x5 mm, fijado con piezas de sujeción, para plataforma de trabajo.** La pieza de rejilla electrosoldada tendrá una malla de protección de perforaciones cuadradas de 8 mm por 8 mm. Incluso p/p de preparación de la superficie de apoyo, cortes, piezas especiales, piezas de sujeción, repaso de imperfecciones y limpieza final.

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

Superficie medida 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 la estructura portante presenta aplomado, planeidad y horizontalidad adecuados.

PROCESO DE EJECUCIÓN

FASES DE EJECUCIÓN

Replanteo. Preparación de la superficie de apoyo. Colocación y fijación provisional de la rejilla electrosoldada. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Limpieza final.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN

La fijación al soporte será adecuada.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se medirá la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto.

4.5 PROTECCIÓN PASIVA CONTRA INCENDIOS DE ESTRUCTURA METÁLICA, CON PINTURA INTUMESCENTE

UNIDAD DE OBRA IOJ026: PROTECCIÓN PASIVA CONTRA INCENDIOS DE ESTRUCTURA METÁLICA, CON PINTURA INTUMESCENTE

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Formación de protección pasiva contra incendios de estructura metálica mediante la aplicación de **pintura intumescente, en emulsión acuosa monocomponente, color blanco, acabado mate liso**, hasta formar un espesor mínimo de **1780 micras** y conseguir una resistencia al fuego de **90 minutos**. Incluso p/p de raspado de óxidos, limpieza superficial y **aplicación de una mano de imprimación selladora de dos componentes, a base de resinas epoxi y fosfato de zinc, color gris, con un rendimiento no menor de 0,125 l/m² (para un espesor mínimo de película seca de 50 micras)**.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO

Superficie resultante del desarrollo de los perfiles metálicos que componen la estructura, 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 la superficie a pintar está seca y limpia de polvo y grasa.

PROCESO DE EJECUCIÓN

FASES DE EJECUCIÓN

Preparación y limpieza de la superficie soporte. Aplicación de una mano de imprimación. Aplicación de las manos de acabado.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN

Las capas aplicadas serán uniformes y tendrán adherencia entre ellas y con el soporte.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se medirá la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, resultante del desarrollo de los perfiles metálicos que componen la estructura.

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO(€)	TOTAL
Acero en pilares	SHS 80x4.0	468,10 kg	2,25	1053,23€
DESCRIPCIÓN GENERAL	Acero S275JR en vigas			

ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO(€/kg)	TOTAL
Acero en vigas	SHS 60x4.0	3458,52 kg	2,25	7781,67€
DESCRIPCIÓN GENERAL	Acero S275JR en pilares			

ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO(€/unidad)	TOTAL
Placas de anclaje	Acero S275JR	40 unidades	19,38	775,2€
DESCRIPCIÓN GENERAL	Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, de 200x200 mm y espesor 1,5 mm, con 4 pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 8 mm de diámetro y 20 cm de longitud total, atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca.			

ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO(€/ m ²)	TOTAL
Pintura intumescente		132,13 m ²	62,56	8266,05 €
DESCRIPCIÓN GENERAL	Protección pasiva contra incendios de estructura metálica con pintura intumescente y aplicación de una mano de imprimación selladora de dos componentes, a base de resinas epoxi y fosfato de zinc, color gris, hasta conseguir una resistencia al fuego de 90 minutos.			

ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO(€/ m ²)	TOTAL
Pavimento de rejilla electrosoldada	Acero laminado S235JR	97 m ²	71,10	6896,7€
DESCRIPCIÓN GENERAL	Pavimento de rejilla electrosoldada antideslizante de 30x30 mm de paso de malla, acabado galvanizado en caliente, realizada con pletinas portantes de acero laminado UNE-EN 10025 S235JR, en perfil plano laminado en caliente, de 40x5 mm, separadas 30 mm entre sí, separadores de varilla cuadrada retorcida, de acero con bajo contenido en carbono UNE-EN ISO 16120-2 C4D, de 8 mm de lado, separados 30 mm entre sí y marco de acero laminado UNE-EN 10025 S235JR, en perfil omega laminado en caliente, de 40x5 mm, fijado con piezas de sujeción, para plataforma de trabajo. La pieza de rejilla electrosoldada tendrá una malla de protección de perforaciones cuadradas de 8 mm por 8 mm.			

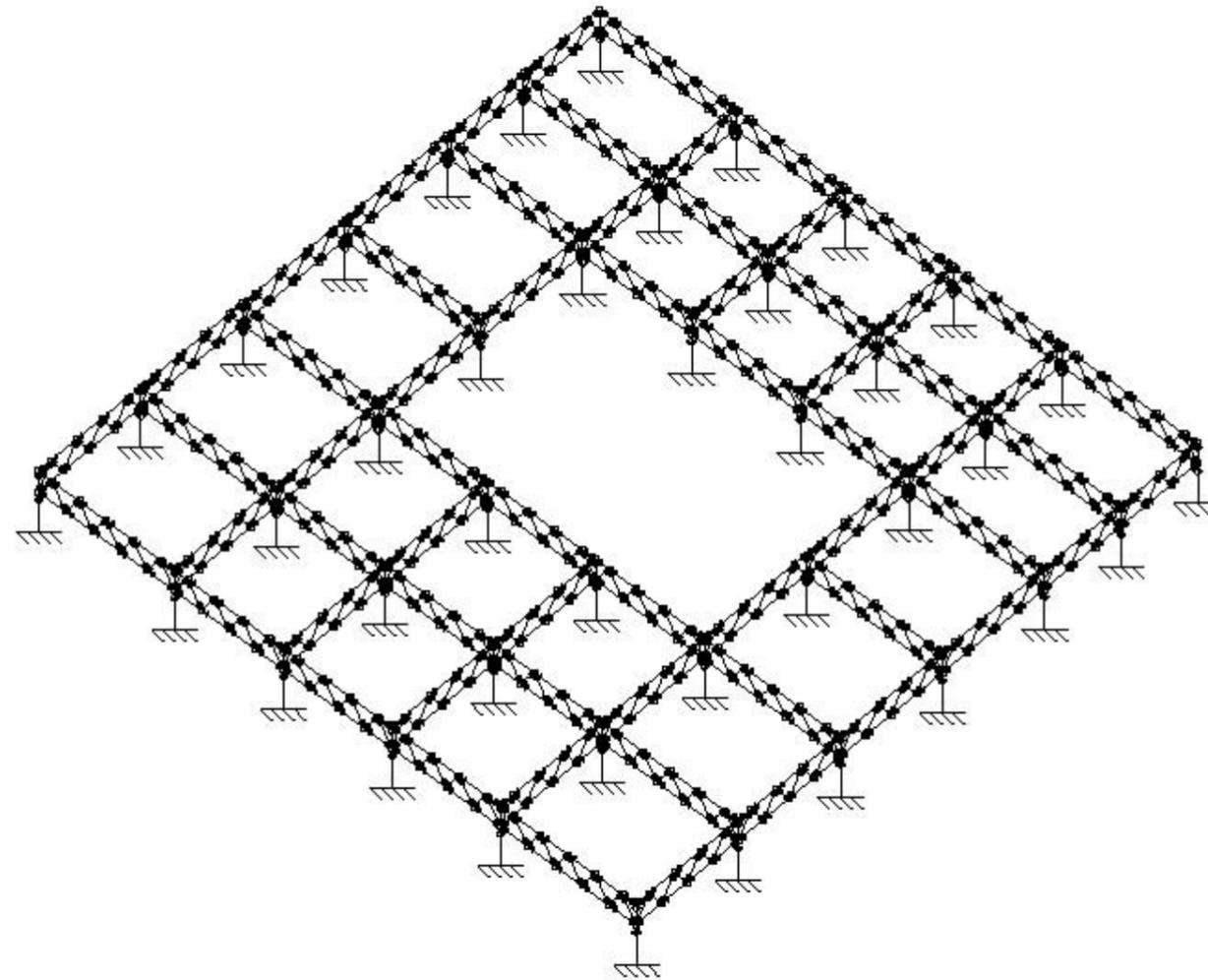
ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO(€/ h)	TOTAL
Consultoría		300 hora de trabajo	7	2100 €

ELEMENTO	MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO(€/ licencia)	TOTAL
Licencia CYPE Ingenieros S.A.		1	4230	4230 €

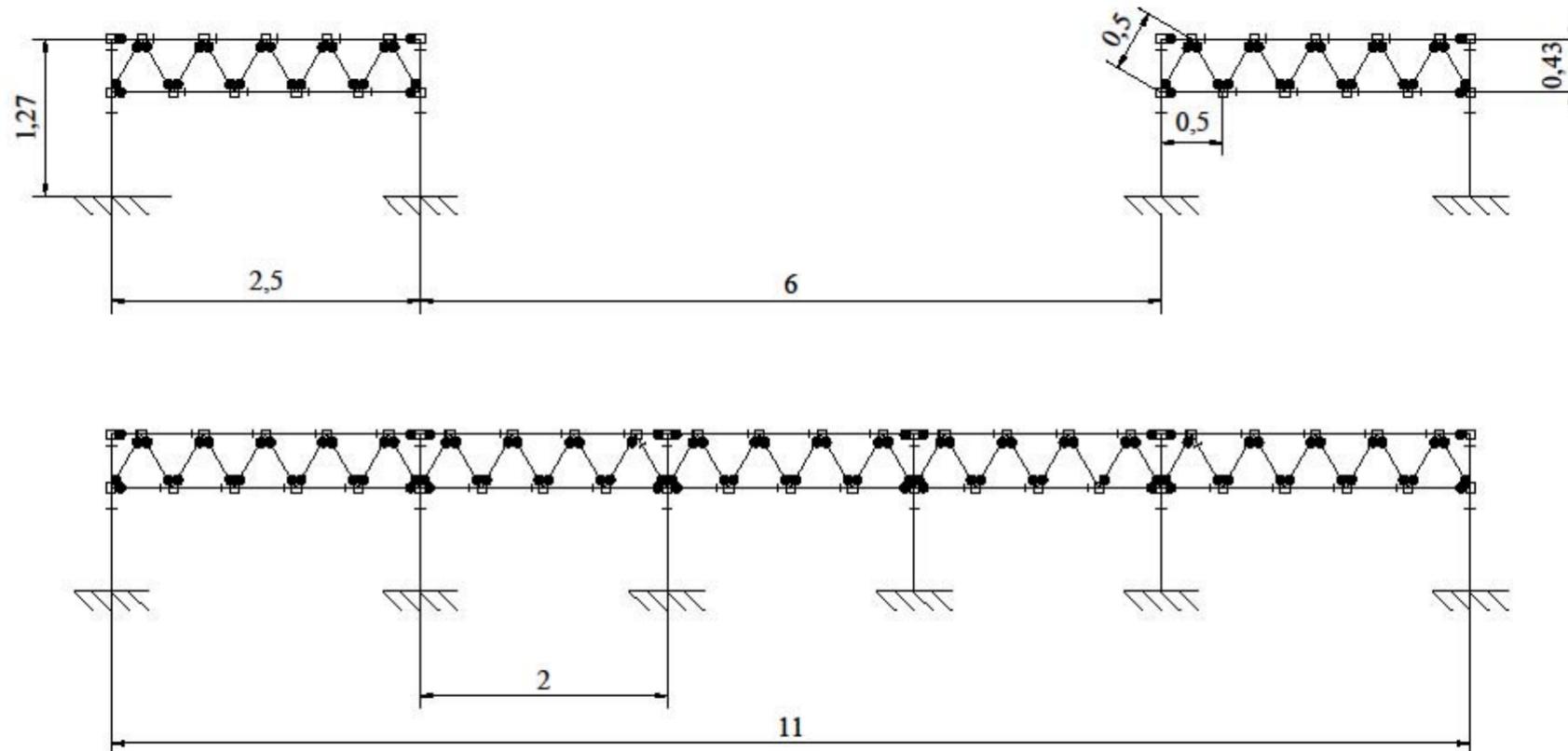
PRESUPUESTO TOTAL	31102,85 €
--------------------------	-------------------

El presupuesto total de materiales de la plataforma de trabajo asciende a la cantidad de TREINTA Y UN MIL CIENTO DOS CON OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS

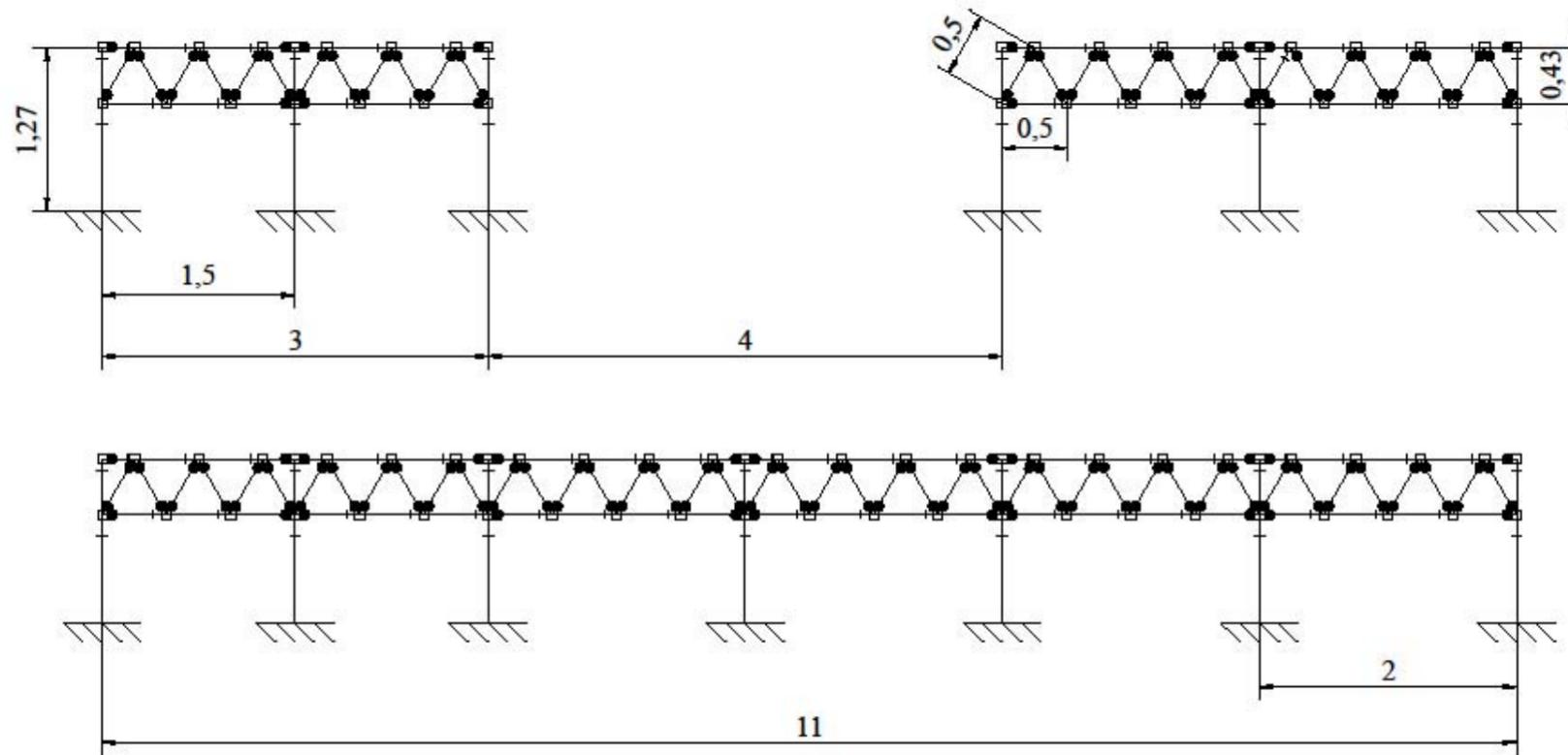
PLANOS



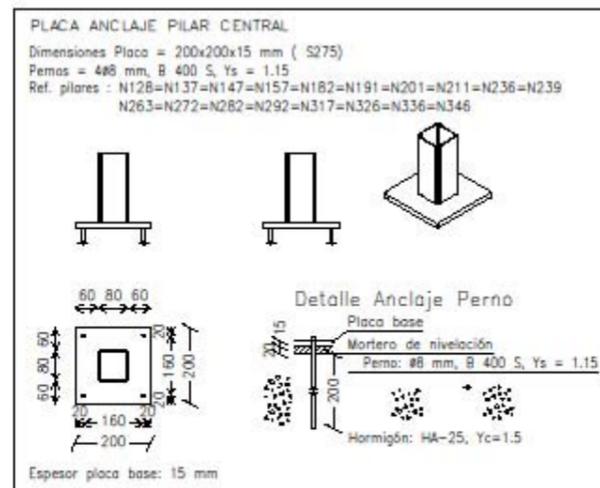
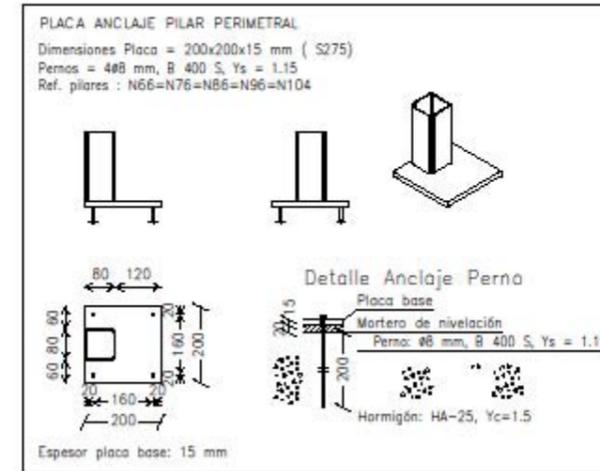
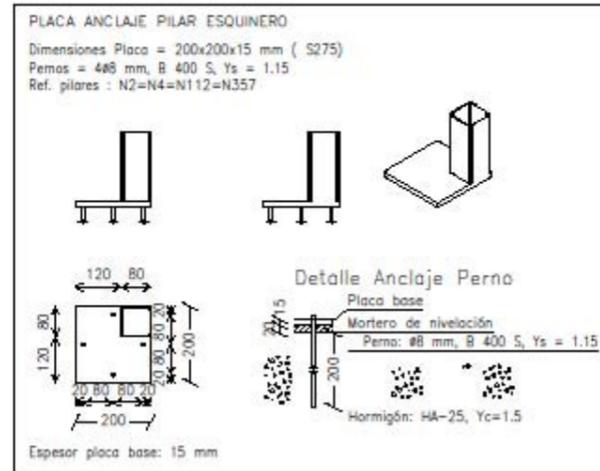
Nº Plano:	1	Escala:	1/70	Unidades:	m	Fecha:	Noviembre, 2016
		Plano: Vista 3D				Autor Jorge Tomer Beltrán	
		Diseño y cálculo sísmico de una estructura metálica usada como plataforma de trabajo en un experimento en Física de Altas Energías.					



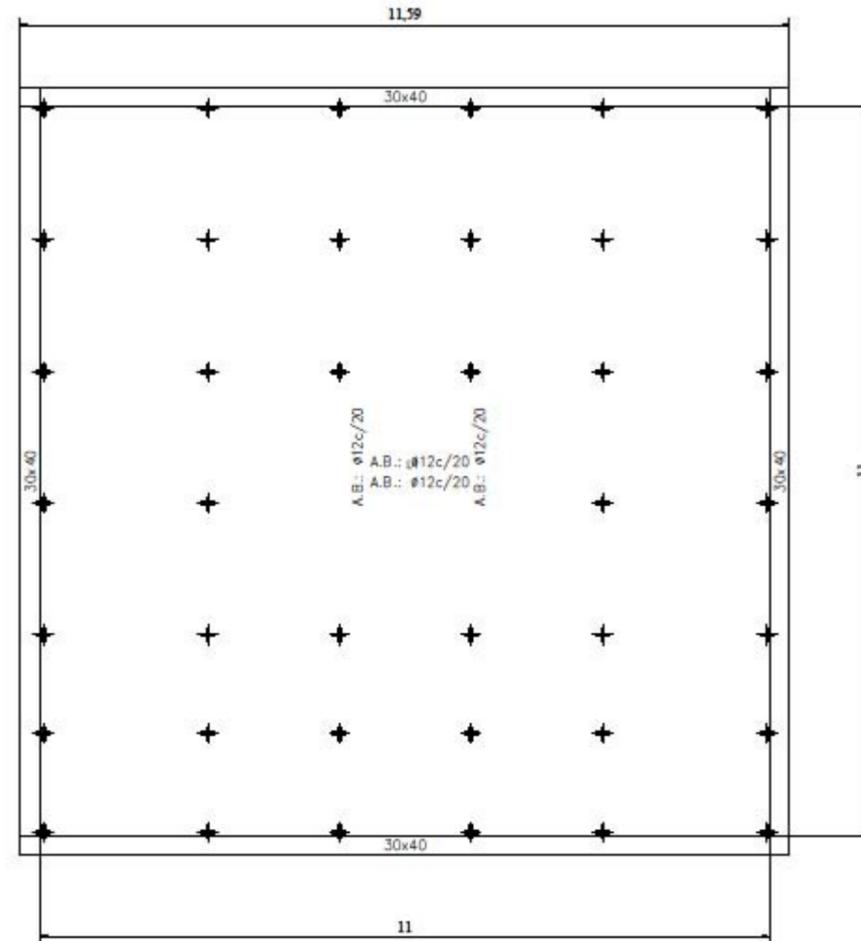
Nº Plano:	2	Escala:	1/40	Unidades:	m	Fecha:	Noviembre, 2016
		Plano:				Autor	
		Vista frontal con hueco / Vista frontal				Jorge Torner Beltrán	
Diseño y cálculo sísmico de una estructura metálica usada como plataforma de trabajo en un experimento en Física de Altas Energías.							



Nº Plano:	3	Escala:	1/40	Unidades:	m	Fecha:	Noviembre, 2016
		Plano: Vista lateral con hueco / Vista lateral				Autor Jorge Torner Beltrán	
Diseño y cálculo sísmico de una estructura metálica usada como plataforma de trabajo en un experimento en Física de Altas Energías.							



Nº Plano:	4	Escala:	1/20	Unidades:	m	Fecha:	Noviembre, 2016
		Plano:				Autor Jorge Torner Beltrán	
		Placas de anclaje Diseño y cálculo sísmico de una estructura metálica usada como plataforma de trabajo en un experimento en Física de Altas Energías.					



Cimentación
 Despiece cimentación
 Hormigón: HA-30, Yc=1.5
 Armadura base en lasas de cimentación
 Paños: L1
 Superior: Ø12 cada 20 cm Inferior: Ø12 cada 20 cm

Nº Plano:	5	Escala:	1/80	Unidades:	m	Fecha:	Noviembre, 2016
		Plano:				Autor Jorge Torner Beltrán	
		Losa de cimentación Diseño y cálculo sísmico de una estructura metálica usada como plataforma de trabajo en un experimento en Física de Altas Energías.					