

GRADO EN INGENIERIA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN
POLIDEPORTIVO EN EL MUNICIPIO DE
BARACALDO***

DOCUMENTO 3- ANEXOS

Alumno/Alumna: Gil Parada, Natalia

Director/Directora: Marcos Rodríguez, Ignacio

Curso: 2017-2018

Fecha: 04/07/2018

ÍNDICE

3 ANEXOS.....	3.1
3.1 CÁLCULOS	3.1
3.1.1 INTRODUCCIÓN	3.1
3.1.2 DATOS DE PARTIDA	3.1
3.1.3 ACCIONES	3.3
3.1.3.1 PESO PROPIO	3.3
3.1.3.2 SOBRECARGA DE USO.....	3.3
3.1.3.3 ACCIONES TÉRMICAS	3.6
3.1.3.4 SOBRECARGA DE NIEVE.....	3.6
3.1.3.5 SISMO.....	3.7
3.1.3.6 SOBRECARGA DE VIENTO	3.8
3.1.4 COMBINACIÓN DE ACCIONES	3.25
3.1.5 ESTUDIO DEL PANEL DE CUBIERTA.....	3.28
3.1.6 ESTUDIO DEL PANEL DE FACHADA	3.31
3.1.7 PROGRAMA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL.....	3.35
3.1.7.1 Determinación de los parámetros en el programa de cálculo estructural	3.35
3.1.8 CALCULO DE CORREAS.....	3.39
3.1.8.1 Correas de cubierta.....	3.39
3.1.8.2 Correas laterales	3.44
3.1.9 CALCULO DE PÓRTICOS.....	3.48
3.1.9.1 DATOS GENERALES	¡Error! Marcador no definido.
3.1.9.2 Pandeo de la estructura.....	3.50
3.1.9.3 Flecha	3.53
3.1.9.4 Resultados	3.55
3.1.10 CÁLCULO DE UNIONES	3.199
3.1.10.1 Resultados	3.199
3.1.11 CIMENTACIÓN.....	3.246
3.1.11.1 Zapatas	3.248
3.1.11.2 Forjado.....	3.257
3.2 EVACUACIÓN DE AGUAS	3.261
3.2.1 INSTALACIÓN DE EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES.....	3.261
3.2.1.1 Intensidad pluviométrica.....	3.261
3.2.1.2 Canalones	3.263
3.2.1.3 Bajantes	3.264

3.2.1.4 Colectores	3.264
3.2.1.5 Arquetas.....	3.265
3.2.1.6 Presupuesto	3.267
3.3 SISTEMA DE EVACUACIÓN DE INCENDIOS	3.269
3.3.1.1 Introducción.....	3.269
3.3.2 Exigencia básica SI 1 - Propagación interior	3.269
3.3.2.1 Compartimentación en sectores de incendio	3.269
3.3.2.2 Espacios ocultos. Paso de instalaciones a través de elementos de compartimentación de incendios	3.270
3.3.2.3 Reacción al fuego de los elementos constructivos decorativos y de mobiliario.....	3.270
3.3.3 Exigencia básica SI2 - Propagación exterior	3.271
3.3.4 Exigencia básica SI3 - Evacuación de ocupantes	3.271
3.3.4.1 Compatibilidad de elementos de evacuación.....	3.271
3.3.4.2 Calculo de la ocupación.....	3.272
3.3.4.3 Número de salidas y longitud de los recorridos de evacuación.....	3.273
3.3.4.4 Dimensionado de los medios de evacuación	3.273
3.3.4.5 Puertas situadas en recorridos de evacuación	3.275
3.3.4.6 Señalización de los medios de evacuación	3.275
3.3.4.7 Control del humo de incendio	3.276
3.3.5 Exigencia básica SI4 - Instalaciones de protección contra incendios	3.276
3.3.5.1 Dotación de instalaciones de protección contra incendios	3.276
3.3.5.2 Características y emplazamiento de los equipos e instalaciones de protección contra incendios.....	3.277
3.3.5.3 Señalización de instalaciones manuales de protección contra incendios	3.286
3.3.6 Exigencia básica SI5 intervención de los bomberos	3.287
3.3.6.1 Condiciones de aproximación, entorno y accesibilidad	3.287
3.3.6.2 Exigencia básica SI6 - Resistencia al fuego de la estructura	3.287
3.3.6.3 Elementos estructurales principales	3.287
3.3.6.4 Elementos estructurales secundarios	3.288
3.3.6.5 Determinación de los revestimientos en el programa de cálculo.....	3.289
3.3.7 PRESUPUESTO	3.290

3 ANEXOS

3.1 CÁLCULOS

3.1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente anexo se desarrollará la justificación numérica de las soluciones adoptadas, estableciendo las acciones actuantes, hipótesis de partida, criterios y procedimientos de cálculo llevados a cabo, así como los resultados finales obtenidos para los distintos elementos que constituyen el pabellón deportivo. Una vez establecidos los datos de partida, las acciones actuantes y las combinaciones de carga, se llevará a cabo el dimensionamiento del pabellón con ayuda del programa de cálculo de estructuras CYPE, en concreto con los módulos diseñados para el cálculo de estructuras metálicas.

3.1.2 DATOS DE PARTIDA

- ❖ Estructura de la nave:
 - Nave de estructura metálica
 - Cubierta plana pero escalonada, consta de dos alturas, la altura mínima de 8m mientras que la altura máxima alcanza los 11m
 - Pórticos hastiales de alma llena
 - Pórticos intermedios en celosía
 - Longitud de 46m
 - Luz de 39m
 - Distancia entre pórticos de 5'11m
 - Altura libre de 8m

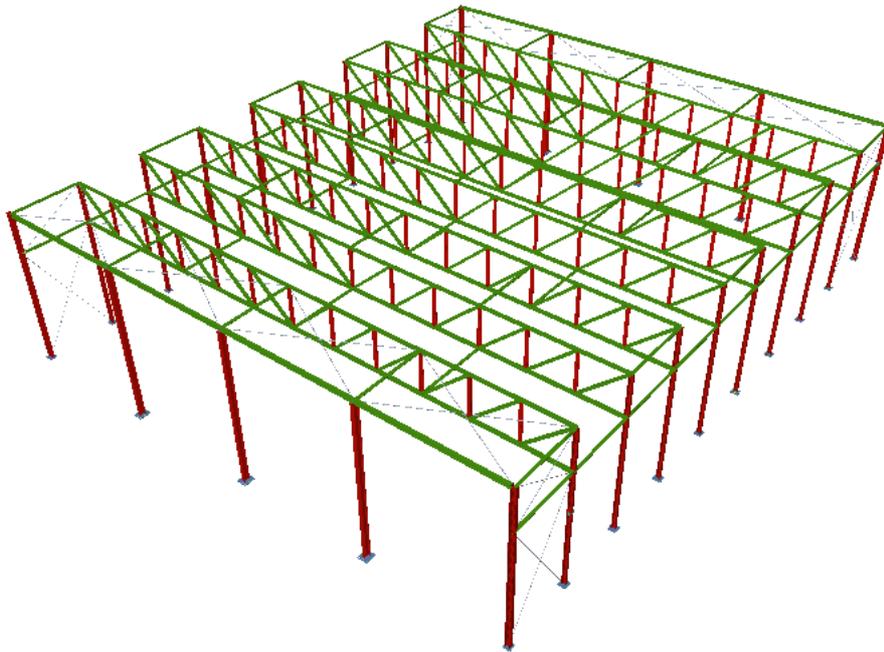
- ❖ Fachadas:
 - Hasta los 3m de altura se dispone un muro perimetral de hormigón armado.
 - A partir de los 3m, se tienen sobre las correas una "Cubierta Deck".

- ❖ Cubierta:
 - La misma "Cubierta Deck" que se ha utilizado en la fachada también se dispone en la cubierta sobre las correas de cubierta.

❖ Ubicación

- Población: Baracaldo
- Localización: Zumalakarregi Kalea, Lutzana, Baracaldo
- Situación topográfica: Normal
- Zona eólica: C

El pabellón consta de una nave metálica con una cubierta plana en dos alturas, formada por 10 pórticos rígidos y empotrados con una separación entre ellos de 5'11m, dando lugar a una longitud total de 46m, para dar cabida a todos los campos que alberga y al graderío habilitado para los espectadores la luz será de 39m. A continuación se muestra una imagen de la estructura para facilitar la comprensión del diseño descrito:



En esta imagen no se muestra la estructura correspondiente al graderío para permitir una mejor visualización de la estructura general.

3.1.3 ACCIONES

En este apartado se desarrollarán individualmente las acciones permanentes y variables actuantes sobre la estructura. Los efectos que éstas producen, en combinación unas con otras, determinarán el tipo de perfil óptimo para cada elemento estructural.

3.1.3.1 Peso propio

El peso propio es la carga cuya magnitud y posición es constante a lo largo del tiempo, esta carga está formada por todos los elementos estructurales como pueden ser cerramientos, correas, revestimientos etc. En un planteo inicial se desconoce el valor que va a tomar dicha carga debido a que no se ha calculado todavía las estructuras necearías y por tanto se desconoce su peso, por lo que se establecerá en la comprobación correspondiente a cada uno de ellos.

3.1.3.2 Sobrecarga de uso

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

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

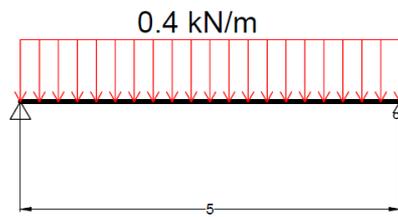
Para el proyecto que se ha planteado, la cubierta es ligera puesto que se considera una cubierta ligera a aquella que cuya carga permanente debida a su cerramiento no exceda de 1kN/m² y únicamente accesible para su conservación, que como se puede observar en la tabla corresponde a la categoría "G" y dentro de ella a la "G1" correspondiente a cubiertas con inclinación inferior a 20°.

Además debido a que únicamente será accesible para conservación esta sobrecarga no se dará de forma simultánea con las acciones de viento y de nieve, se considera no concomitante.

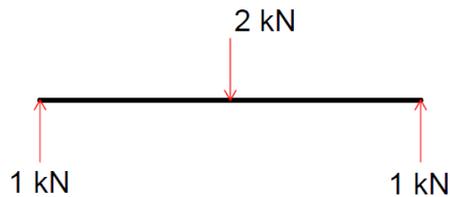
Por lo tanto, tal y como se indica en la tabla, a la subcategoría de uso G1, le corresponde un valor de 0'4 kN/m² si se trata de una carga distribuida y 1kN/m² para el caso de una carga puntual.

Teniendo en cuenta que el valor indicado se refiere a la proyección horizontal de la superficie de la cubierta, se realizará un estudio para determinar cuál de las dos cargas mencionadas anteriormente, es más desfavorable. Para ello, se calculará el momento máximo producido por cada una de las cargas, sobre una barra biapoyada de una longitud de 5m:

❖ Carga uniforme: 0'4 kN/m

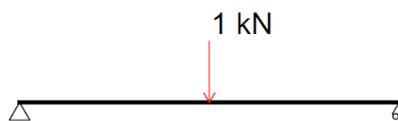


Colocando dicha carga como puntual, y obteniendo las reacciones:

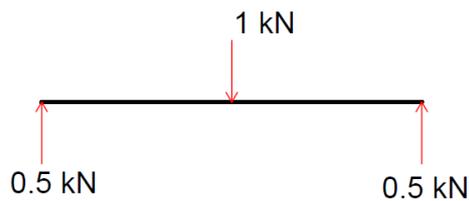


$$M_{max} = 5x - q \cdot \frac{x^2}{2} = 5 \cdot 2'5 - 0'4 \cdot \frac{2'5^2}{2} = 11'25 \text{ kN}$$

❖ Carga concentrada: 1kN



Calculando las reacciones:



$$M_{max} = 0'5 \cdot 2'5 = 1'25 \text{ kN}$$

El momento flector máximo lo proporciona la carga distribuida, por lo tanto, será la carga a emplear para la sobrecarga de uso.

Como la cubierta es plana no se tendrá que descomponer el valor entre perpendicular y paralelo.

$$q_{uso} = 0'4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

3.1.3.3 Acciones térmicas

Los edificios y sus elementos están sometidos a deformaciones y cambios geométricos debidos a las variaciones de la temperatura ambiente exterior. La magnitud de las mismas depende de las condiciones climáticas del lugar, la orientación y la exposición del edificio, las características de los materiales constructivos y de los acabados o revestimientos, y del régimen de calefacción y ventilación interior, así como del aislamiento térmico. Las variaciones de la temperatura en el edificio conducen a deformaciones de todos los elementos constructivos, en particular, los estructurales, que en los casos en los que estén impedidas, producen tensiones en los elementos afectados.

La disposición de juntas de dilatación puede contribuir a disminuir los efectos de las variaciones de la temperatura. En edificios habituales, con elementos estructurales de hormigón o acero, pueden no considerarse las acciones térmicas cuando se dispongan de juntas de dilatación de forma que no existan elementos continuos de más de 40m de longitud.

En este caso tenemos una longitud de 46m por lo que tendremos que disponer de alguna junta de dilatación para cumplir con esta última condición.

3.1.3.4 Sobrecarga de nieve

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores.

Según el SE-AE como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, se tomará:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

Siendo:

μ : Coeficiente de forma de la cubierta. Para un faldón limitado inferiormente por cornisas o limatesas, y en el que no hay impedimento al deslizamiento de la nieve, el coeficiente de forma tiene el valor de 1 para cubiertas con inclinación menor igual que 30° y 0 para cubiertas con inclinación de mayor o igual que 60°.

Por lo tanto, para una inclinación de 0° $\rightarrow \mu = 1$

s_k : Valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal. Dicho valor se toma de la siguiente tabla, en función de las capitales de provincia y ciudades autónomas, tomada del documento DB-SE-AE.

Tabla 3.8 Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

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

La cota tanto de Bilbao como de Baracaldo es prácticamente la misma por lo que se utilizará el valor que viene definido en el SE-AE para Bilbao.

Una vez definidos dichos parámetros, el valor de carga de nieve es:

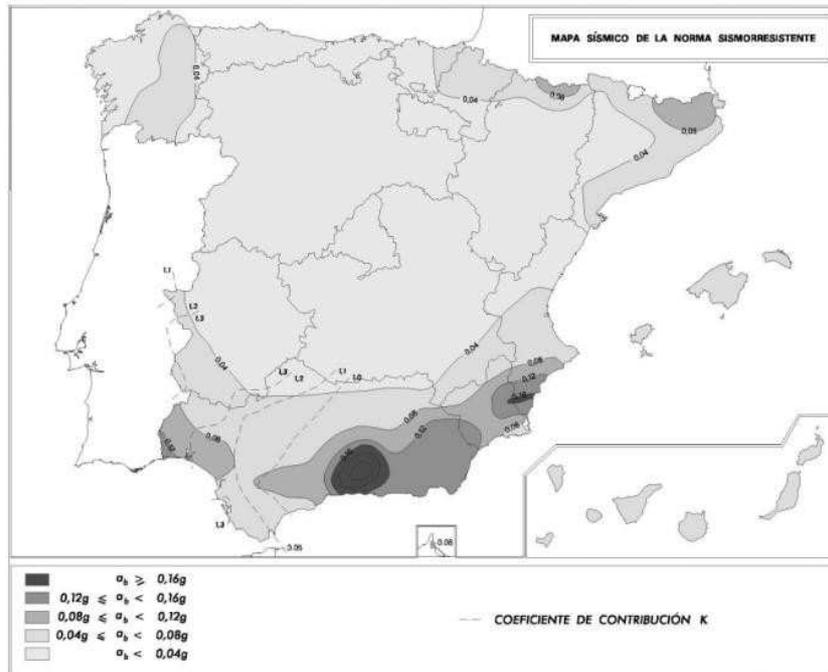
$$q_n = 1 \cdot 0'3 = 0'3 \frac{kN}{m^2}$$

3.1.3.5 SISMO

Las acciones sísmicas debidas a las aceleraciones de las sacudidas producidas por el terreno están reguladas por la norma NSCE-02: Norma de construcción sismorresistente. De acuerdo a lo establecido en dicha norma, su aplicación no es obligatoria en los siguientes casos:

- ❖ Construcciones de importancia moderada.
- ❖ Construcciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica ab sea inferior a 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad.
- ❖ Construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica ab sea inferior a 0,08 g, siendo g la aceleración de la gravedad.

En el caso del pabellón a proyectar, la construcción es considerada de normal importancia, ya que su destrucción por terremoto puede ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad o producir pérdidas económicas, pero en ningún caso se trata de un servicio imprescindible ni puede dar lugar a efectos catastróficos. Acudiendo al mapa de peligrosidad de dicha norma, que muestra a continuación:



Se obtiene que la aceleración sísmica básica en el municipio de Baracaldo es: $a_b < 0,04g$, lo que permite establecer la no obligada aplicación en el presente proyecto de la citada norma, y en consecuencia, no se considerarán acciones sísmicas.

3.1.3.6 SOBRECARGA DE VIENTO

La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento.

La acción del viento es una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, se expresa como:

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

Siendo:

q_b : La presión dinámica del viento. Varía en función del emplazamiento geográfico de la obra y puede obtenerse con la expresión:

$$q_b = 0'5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

Siendo δ la densidad del aire de valor $1'25\text{kg/m}^3$ y v_b el valor básico de la velocidad del viento. El valor básico de la velocidad del viento en cada localidad puede obtenerse del mapa de la imagen 5.

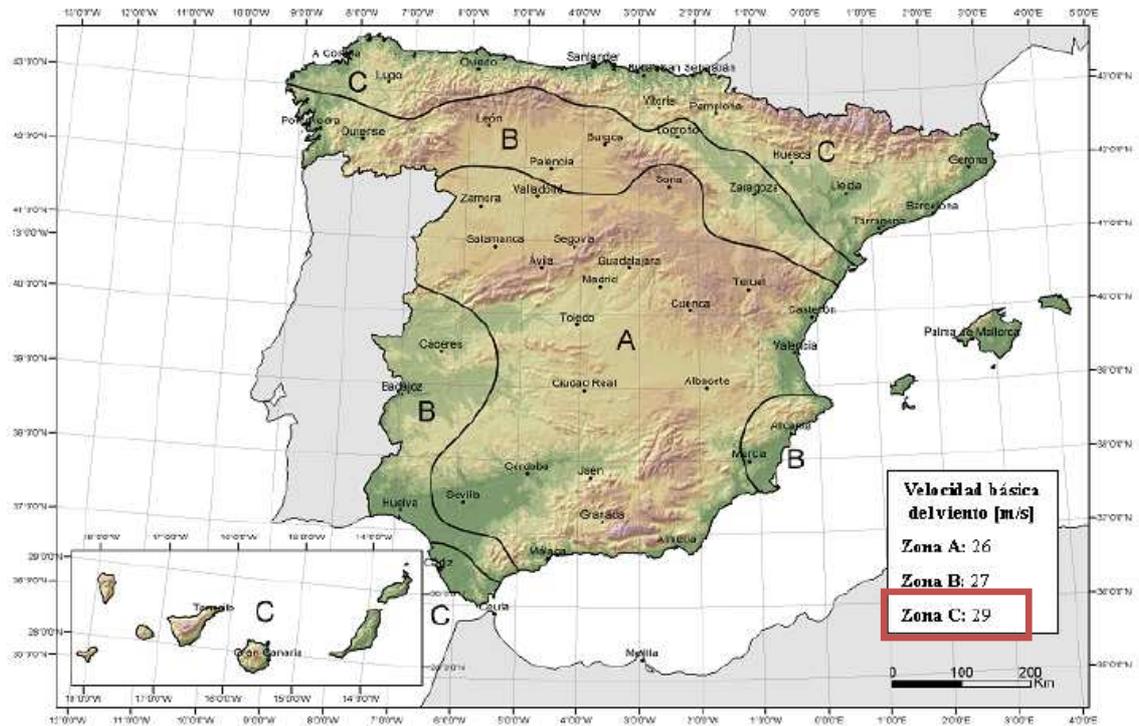


Imagen 1. Valor básico de la velocidad del viento v_b

Puesto que la nave se situará en Bilbao, la presión dinámica del viento queda:

$$q_b = 0'5 \cdot 1'25 \cdot 29^2 = 525'625 \frac{N}{m^2}$$

$$q_b = 525'625 \frac{N}{m^2} \cdot 10^{-3} = 0'52 \frac{kN}{m^2}$$

c_e : El coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Para alturas no superiores a 30m, su valor se obtiene de la tabla 5.

Como ya se ha mencionado anteriormente la nave del estudio consta de dos alturas, por lo que habrá que obtener el c_e para cada uno de los casos, para luego poder calcular el viento total para cada zona.

❖ **Altura máxima de 11m**

Tabla 1. Valores del coeficiente de exposición

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

El grado de aspereza del entorno de la nave considerada corresponde a k=IV, zona urbana en general, industrial o forestal y la altura del punto más alto corresponde a 10'12m. Como dicha altura no se encuentra en la tabla, se interpolan los valores:

$$\frac{12 - 9}{12 - 10'12} = \frac{1'9 - 1'7}{1'9 - c_e} \rightarrow c_e = 1'83$$

c_p : El coeficiente eólico o de presión, depende de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie, indicando succión cuando presenta un valor negativo.

La estructura considerada, se toma como una cubierta para el cálculo del c_p , tal y como indica el DB SE-AE en el apartado 3.3.5. Puesto que el área total de los huecos en al menos dos de los lados de la nave, no excede el 30% el área total del lado considerado.

El tipo de cubierta de la nave, es una cubierta plana.

Los valores del coeficiente de presión se obtienen de las tablas del anejo D, obteniendo un valor para el viento transversal y otro para el viento longitudinal.

❖ **Altura mínima de 8m**

Tabla 1. Valores del coeficiente de exposición

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

$$\frac{9 - 6}{9 - 8} = \frac{1'7 - 1'4}{1'7 - c_e} \rightarrow c_e = 1'6$$

❖ **Presión interior**

En aquellos casos en los que el edificio presente grandes huecos, la acción de viento genera, además de presiones en el exterior, presiones en el interior, que deben sumarse a las anteriores. El coeficiente de presión interior se considerará único en todos los paramentos interiores del edificio que delimiten la zona afectada por la fachada o cubierta que presente grandes huecos. La carga de viento debida a presiones en el interior, se determinará de igual modo, mediante la aplicación de la ecuación anteriormente establecida para el cálculo de la presión estática con sus correspondientes coeficientes de exposición y presión interior.

$$q_v = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Siendo:

q_b : La presión dinámica del viento, tomando el mismo valor que el calculado en el punto anterior.

$$q_b = 0'5 \cdot 1'25 \cdot 29^2 = 525'625 \frac{N}{m^2}$$

$$q_b = 525'625 \frac{N}{m^2} \cdot 10^{-3} = 0'52 \frac{kN}{m^2}$$

$c_{p \text{ interior}}$: Coeficiente de presión interior. Es único en todos los paramentos interiores del edificio que delimitan la zona afectada.

Se calculan las esbelteces en el plano paralelo al viento, para posteriormente obtener el $c_{p \text{ interior}}$ tanto a succión como a presión.

- Succión interior:

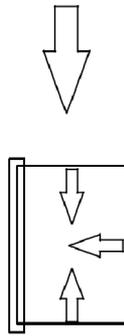


Imagen 8. Caso de viento a succión interior con viento longitudinal exterior

$$esbeltez = \frac{11}{46} = 0'24$$

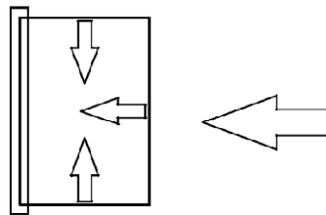


Imagen 9. Caso de viento a succión interior con viento transversal exterior

$$esbeltez = \frac{11}{39} = 0'28$$

$$\frac{A \text{ succión}}{A \text{ tot huecos}} = 1$$

- Presión interior:

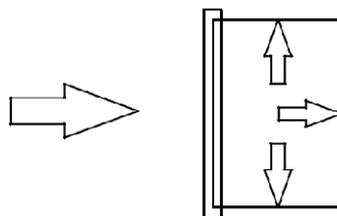


Imagen 10. Caso de viento a presión interior con viento transversal exterior

$$esbeltez = \frac{11}{39} = 0'28$$

$$\frac{A_{\text{succión}}}{A_{\text{tot huecos}}} = 0$$

Tabla 11. Coeficientes de presión interior

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

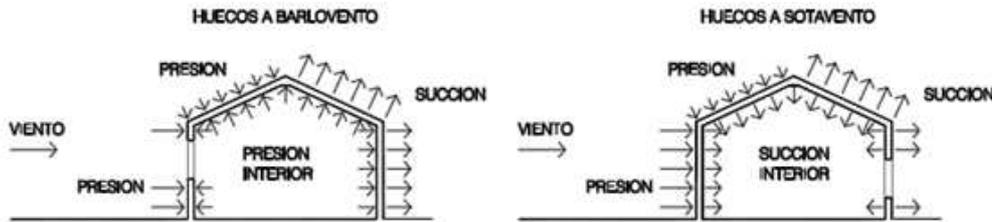


Imagen 11. Presiones ejercidas por el viento en una construcción diáfana

$C_{e\text{ interior}}$: Coeficiente de exposición interior. Para edificios de una sola planta se considera como coeficiente de exposición el correspondiente a la altura del punto medio del hueco.

En edificios de una sola planta como lo es el pabellón a proyectar se considerará como coeficiente de exposición para el cálculo de la presión interior, $C_{e,pi}$, el correspondiente a la altura del punto medio del hueco, salvo que exista un hueco dominante, en cuyo caso el coeficiente de exposición será el correspondiente a la altura media de dicho hueco. De modo que, en el caso a estudio, el coeficiente de exposición para el cálculo de la presión interior, deberá obtenerse para una altura de 1,15 metros correspondientes al punto medio de las puertas existentes en el pabellón polideportivo, para un grado de aspereza III. Dicha altura, no se contempla en la tabla de valores del apartado 3.3.3 del DB SE-AE, por lo que la determinación del coeficiente se llevará a cabo de acuerdo a lo indicado en el Anejo D, apartado D.2 del citado Documento Básico. En éste, el coeficiente de exposición C_e para alturas sobre el terreno, z , no mayores de 200 m, puede determinarse con las expresiones:

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

$$F = k \cdot \ln\left(\frac{\max(z, Z)}{L}\right)$$

Grado de aspereza: $k=IV$

Siendo k, L, Z parámetros característicos de cada tipo de entorno, según la siguiente tabla:

Tabla 2. Coeficientes para tipos de entorno

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

$$F = 0'22 \cdot \ln\left(\frac{\max(3,5)}{0'3}\right) = 0'619$$

$$c_{e \text{ int}} = 0'619 \cdot (0'619 + 7 \cdot 0'22) = 1'34$$

Debiendo, por tanto, obtenerse los valores de la primera de las filas de la tabla anterior, en función del área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del edificio para cada dirección del viento.

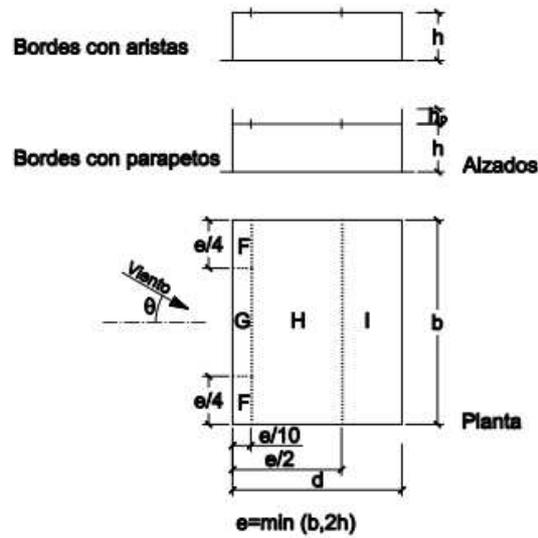
C_{pi} - Barlovento (kN/m^2)		C_{pi} - Sotavento (kN/m^2)	
ZONA	0'488	ZONA	-0'348

3.1.3.6.1 ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE LA CUBIERTA

❖ Presión exterior, viento transversal

Se ha determinado que para el cálculo del valor del viento exterior se utilizará el esquema de cálculo de una cubierta plana, teniendo en cuenta las zonas y a qué altura se encuentran.

Tabla D.4 Cubiertas planas



	h_p/h	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$			
			F	G	H	I
Bordes con aristas		≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2 -0,2
		≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	0,2 -0,2
Con parapetos	0,025	≥ 10	-1,6	-1,1	-0,7	0,2 -0,2
		≤ 1	-2,2	-1,8	-1,2	0,2 -0,2
	0,05	≥ 10	-1,4	-0,9	-0,7	0,2 -0,2
		≤ 1	-2,0	-1,6	-1,2	0,2 -0,2
0,10	≥ 10	-1,2	-0,8	-0,7	0,2 -0,2	
	≤ 1	-1,8	-1,4	-1,2	0,2 -0,2	

Nota: Se considerarán cubiertas planas aquellas con una pendiente no superior a 5°

Siendo:

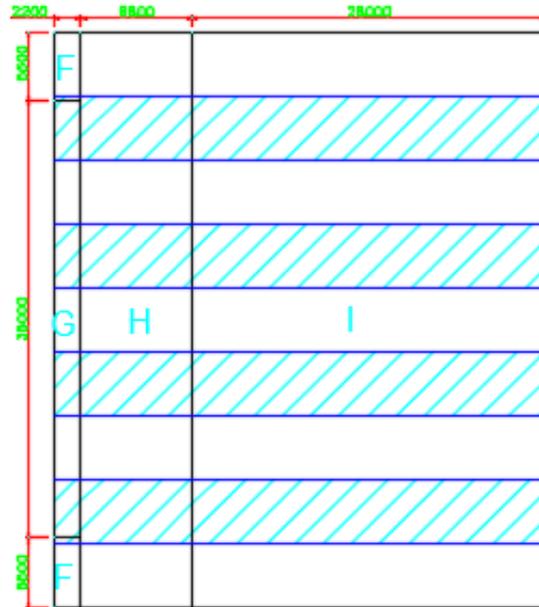
$$e = \min(b, 2h) = \min(46,2 \cdot 11) \rightarrow e = 22$$

$$e/2 = 11$$

$$e/4 = 5'5$$

$$e/10 = 2'2$$

La zonificación de la cubierta del pabellón a proyectar, se establece de la siguiente manera:



Estos serían los coeficientes para cada zona:

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-1'8	-1'2	-0'7	±0'2

Aplicando la ecuación previamente establecida, obtenemos los siguientes valores:

$$q_v = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

❖ Altura de 11m

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-1'713	-1'142	-0'666	±0'190

❖ Altura de 8m

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-1'498	-0'998	-0'582	±0'166

Teniendo en cuenta los valores de presión interior previamente calculados, queda lo siguiente:

❖ Viento a Barlovento (kN/m^2)

- Altura de 11m

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-2'201	-1'63	-1'232	-0'298
-1'365	-0'794	-0'318	0'538

- Altura de 8m

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-1'986	-1'486	-1'07	-0'322
-1'15	-0'65	-0'234	0'514

❖ Viento a Sotavento (kN/m^2)

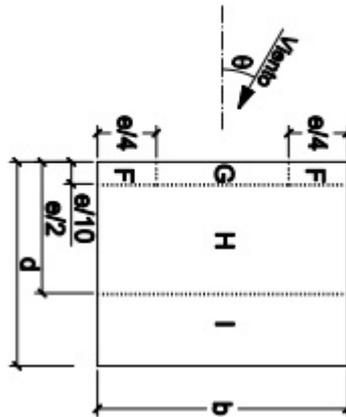
- Altura de 11m

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-2'201	-1'63	-1'232	-0'678
-1'365	-0'794	-0'318	0'158

- Altura de 8m

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-1'15	-0'65	-0'234	-0'654
-1'986	-1'486	-1'07	0'182

❖ Presión exterior, viento longitudinal



h_p/h	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		F	G	H	I	
Bordes con aristas	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2 -0,2	
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	0,2 -0,2	
Con parapetos	0,025	≥ 10	-1,6	-1,1	-0,7	0,2 -0,2
		≤ 1	-2,2	-1,8	-1,2	0,2 -0,2
	0,05	≥ 10	-1,4	-0,9	-0,7	0,2 -0,2
		≤ 1	-2,0	-1,6	-1,2	0,2 -0,2
	0,10	≥ 10	-1,2	-0,8	-0,7	0,2 -0,2
		≤ 1	-1,8	-1,4	-1,2	0,2 -0,2

Nota: Se considerarán cubiertas planas aquellas con una pendiente no superior a 5°

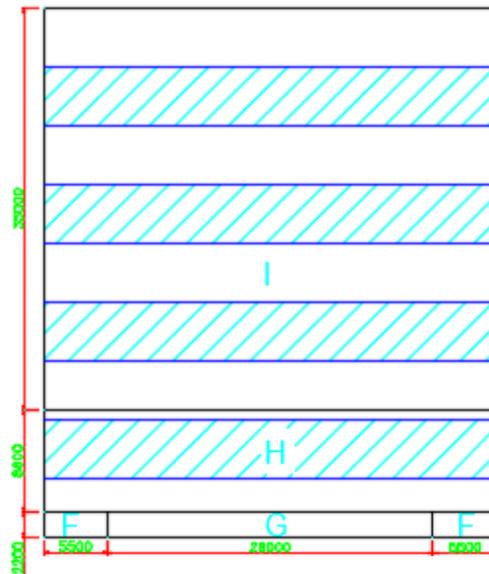
$$e = \min(b, 2h) = \min(39,2 \cdot 11) \rightarrow e = 22$$

$$e/2 = 11$$

$$e - e/10 = 19'8$$

$$39 - e = 17$$

La zonificación de la cubierta del pabellón a proyectar, se establece de la siguiente manera:



Estos serían los coeficientes para cada zona:

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-1'8	-1'2	-0'7	±0'2

Aplicando la ecuación previamente establecida, obtenemos los siguientes valores:

$$q_v = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

❖ Altura de 11m

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-1'713	-1'142	-0'666	±0'190

❖ Altura de 8m

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-1'498	-0'998	-0'582	±0'166

Teniendo en cuenta los valores de presión interior previamente calculados, queda lo siguiente:

❖ Viento a Barlovento (kN/m^2)

- Altura de 11m

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-2'201	-1'63	-1'232	-0'298
-1'365	-0'794	-0'318	0'538

- Altura de 8m

ZONA H	ZONA I
-1'07	-0'234
-0'234	0'514

❖ Viento a Sotavento (kN/m^2)

- Altura de 11m

ZONA F	ZONA G	ZONA H	ZONA I
-2'201	-1'63	-1'232	-0'678
-1'365	-0'794	-0'318	0'158

- Altura de 8m

ZONA H	ZONA I
-1'07	-0'654
-0'234	0'182

3.1.3.6.2 Acción del viento sobre paramentos verticales

El cerramiento lateral se considera dentro de "paramentos verticales", por lo que para el cálculo de estos, se debe acudir al Documento Básico SE-A, Anejo D (acción del viento).

Además de los considerados paramentos verticales, también se realiza el cálculo de la sobrecarga de viento en los elementos verticales que conforman la cubierta.

Para la obtención de la carga del viento, se debe utilizar la siguiente expresión, ya mencionada anteriormente:

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

Donde,

q_e : Es el valor de la carga de viento.

q_b : Presión dinámica

$$q_b = 0'52 \frac{kN}{m^2}$$

c_e : Coeficiente de exposición, se tiene tanto exterior como interior, serán los mismos que se han utilizado para el cerramiento de la cubierta.

$$c_{e \text{ ext}(11m)} = 1'83$$

$$c_{e \text{ ext}(8m)} = 1'6$$

$$c_{e \text{ int}} = 1'34$$

c_p : Coeficiente de presión, se obtendrá mediante una tabla que se mostrará más adelante, para el caso de viento exterior.

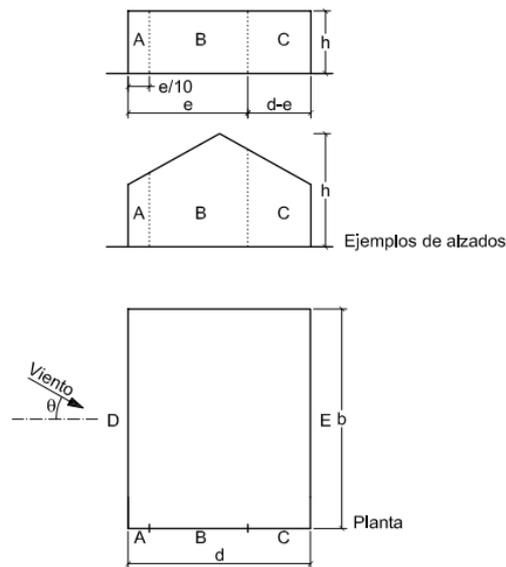
Se dará de forma simultánea viento exterior y viento interior por lo que también se tiene un coeficiente de presión interior, que como ocurre con el coeficiente de exposición tomara los mismos valores que para el cálculo de la cubierta.

Se tomaran dos coeficientes,

$c_{p \text{ int}} = 0'5 \rightarrow$ Cuando en el interior haya viento a succión.

$c_{p \text{ int}} = 0'7 \rightarrow$ Cuando en el interior haya viento a presión.

❖ Viento Transversal



En primer lugar se realizará el cálculo de la "e", que se necesitará más adelante para determinar las zonas en las que se encuentra el elemento a dimensionar

eSiendo:

$$e = \min(b, 2h) = \min(46,2 \cdot 11) \rightarrow e = 22$$

$$39 - e = 17$$

$$e - e/10 = 19'8$$

$$e/10 = 2'2$$

Área de los paneles:

$$\text{Ancho} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Alto} = 8 \text{ m}$$

$$A = 1 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 8 \text{ m}^2$$

Dado que el valor del área se encuentra entre los valores de 5 y 10 se deberá interpolar.

Tal y como se indica en el anejo D, en lo referente a el coeficiente de presión exterior (SE-AE-24) para elementos con área de influencia A, entre 1m^2 y 10m^2 , el coeficiente de presión exterior se puede obtener mediante la fórmula:

$$c_{Pe,A} = c_{Pe,1} + (c_{Pe,10} - c_{Pe,1}) \cdot \log_{10} A$$

$$h = 11 \text{ m}$$

$$d = 46 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{11}{46} = 0'24$$

Al calcular el valor de $\frac{h}{d}$, se observa que este se encuentra comprendido entre

$$\frac{h}{d} = 0'24 < 0'25$$

Por lo que se toman los valores marcados en rojo de la siguiente tabla.

Tabla 3. Coeficientes de presión para el cálculo del viento transversal en paramentos verticales.

A (m ²)	h/d	Zona (según figura), -45° < θ < 45°				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	"	-0,3

Tabla 4. Coeficientes de presión para el cálculo del viento en paramentos verticales para un área de 8m²

A(m ²)	h/d	A	B	C	D	E
8	1	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

Se ha optado por tomar los valores correspondientes a la altura de 11m, por ser esta más crítica, para el cálculo del valor del viento en los paramentos verticales de la estructura completa.

Teniendo en cuenta los valores de presión interior previamente calculados, queda lo siguiente:

❖ Viento a Barlovento (kN/m^2)

- Altura de 11m

ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D	ZONA E
-1'63	-1'25	-0'96	0'178	-0'77

❖ Viento a Sotavento (kN/m^2)

- Altura de 11m

ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D	ZONA E
-0'79	-0'41	-0'12	1'01	0'07

❖ Viento Longitudinal

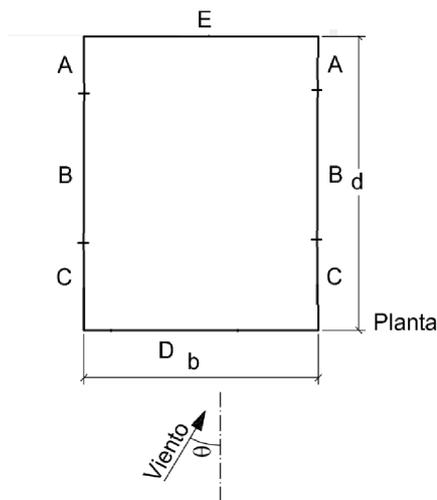


Imagen 12. Viento longitudinal en los paramentos verticales

Todos los cálculos serán iguales que en el apartado anterior, solo que en esta ocasión el parámetro "d" tomará el valor de 46m y el parámetro "b" será igual a 39m.

$$e = \min(b, 2h) = \min(39, 2 \cdot 11) \rightarrow e = 22$$

$$46 - e = 24$$

$$e - e/10 = 19'8$$

$$e/10 = 2'2$$

Ahora se procederá al cálculo de h/d:

$$d = 39 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{11}{39} = 0'282$$

Tal y como se explica para el viento transversal, se considera $\frac{h}{d} = 1$, ya que entre los dos valores entre los que se encuentra este sería el más desfavorable.

$$A = 1\text{m} \cdot 8\text{m} = 8 \text{ m}^2$$

Tabla 5. Coeficientes de presión para el cálculo del viento en paramentos verticales para un área de 8m²

A(m ²)	h/d	A	B	C	D	E
8	1	-1,22	-0,83	-0,5	0,73	-0,3

Se ha optado por tomar los valores correspondientes a la altura de 11m, por ser esta más crítica, para el cálculo del valor del viento en los paramentos verticales de la estructura completa.

Teniendo en cuenta los valores de presión interior previamente calculados, queda lo siguiente:

❖ Viento a Barlovento (kN/m^2)

- Altura de 11m

ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D	ZONA E
-1'65	-1'27	-0'96	0'16	-0'77

❖ Viento a Sotavento (kN/m^2)

- Altura de 11m

ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D	ZONA E
-0'77	-0'40	-0'11	1'02	0'06

3.1.4 COMBINACIÓN DE ACCIONES

Se combinarán solo las cargas del plano perpendicular al cerramiento.

Para realizar el cálculo, se hace uso del Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE) donde dice que el valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la siguiente expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Es decir, considerando la actuación simultánea de:

- a) Todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluido el pretensado ($\gamma_P \cdot P$).
- b) Una acción accidental cualquiera, en valor de cálculo (A_d), debiendo analizarse sucesivamente con cada una de ellas.
- c) Una acción variable, en valor de cálculo frecuente ($\gamma_Q \cdot \psi_1 \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal, una tras otra sucesivamente en distintos análisis con cada acción accidental considerada.
- d) El resto de las acciones variables, en valor de cálculo casi permanente ($\gamma_Q \cdot \psi_2 \cdot Q_k$).

En situación extraordinaria, todos los coeficientes de seguridad ($\gamma_G, \gamma_P, \gamma_Q$), son iguales a cero si su efecto es favorable, o a la unidad si es desfavorable, en los términos anteriores.

Tabla 6. Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones.

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

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 7. Coeficientes de simultaneidad (ψ)

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

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

Por otra parte, para el cálculo del cerramiento, se cogerá para cada dirección de viento el valor de la zona de mayor carga y se realizarán las pertinentes combinaciones de carga con estos valores pues de aguantar la cubierta escogida este valor, aguantará el resto por ser estos de menor magnitud que el escogido.

- Peso propio:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} \quad (1)$$

- Peso propio + sobrecarga de uso:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_U \quad (2)$$

- Peso propio + sobrecarga de nieve:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_N \quad (3)$$

- Peso propio + viento a presión:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_{Vp} \quad (4)$$

- Peso propio + viento a succión:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_{Vs} \quad (5)$$

- Peso propio + sobrecarga de nieve + viento a presión:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_N + \gamma_G \cdot \psi_0 \cdot q_{Vp} \quad (6)$$

- Peso propio + sobrecarga de nieve + viento a succión:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_N + \gamma_G \cdot \psi_0 \cdot q_{Vs} \quad (7)$$

- Peso propio + viento a presión + sobrecarga de nieve:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_{Vp} + \gamma_G \cdot \psi_0 \cdot q_N \quad (8)$$

- Peso propio + viento a succión + sobrecarga de nieve:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_{Vs} + \gamma_G \cdot \psi_0 \cdot q_N \quad (9)$$

Como se observa, la sobrecarga de uso únicamente se combina con el peso propio, ya que como se ha comentado anteriormente, la cubierta será únicamente accesible para conservación, motivo por el cual no será concomitante con el resto de acciones variables.

Además, previo al estudio de la cubierta se podrán eliminar algunas de estas combinaciones por existir otras que sin necesidad de evaluar las cargas actuantes serán más críticas, teniéndose:

- Peso propio + sobrecarga de uso:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_U \quad (2)$$

- Peso propio + viento a succión:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_{Vs} \quad (5)$$

- Peso propio + sobrecarga de nieve + viento a presión:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_N + \gamma_G \cdot \psi_0 \cdot q_{Vp} \quad (6)$$

- Peso propio + sobrecarga de nieve + viento a succión:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_N + \gamma_G \cdot \psi_0 \cdot q_{Vs} \quad (7)$$

- Peso propio + viento a presión + sobrecarga de nieve:

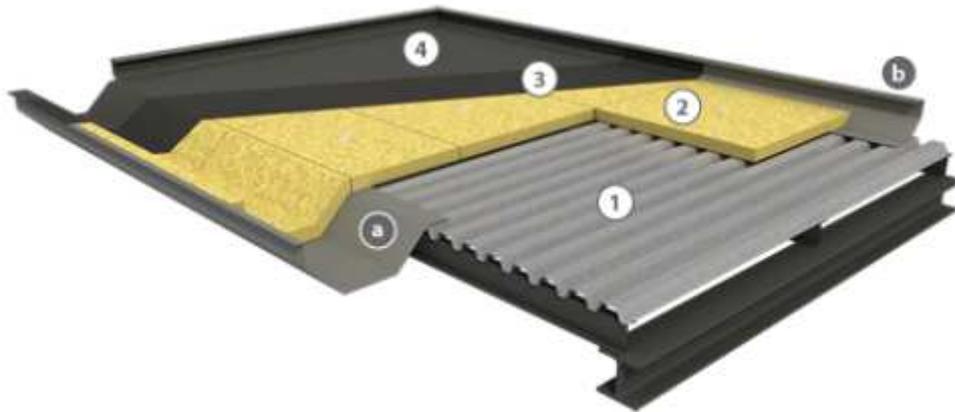
$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_{Vp} + \gamma_G \cdot \psi_0 \cdot q_N \quad (8)$$

- Peso propio + viento a succión + sobrecarga de nieve:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_{Vs} + \gamma_G \cdot \psi_0 \cdot q_N \quad (9)$$

3.1.5 ESTUDIO DEL PANEL DE CUBIERTA

Para el cerramiento de la cubierta se ha optado por una Cubierta Deck, suministrada por la empresa "INCOPERFIL" (Ingeniería y construcción del perfil). La cubierta deck es una solución perfecta para cubiertas industriales planas (pendiente entre el 1% y el 5%) por su gran adaptabilidad y rapidez de montaje.



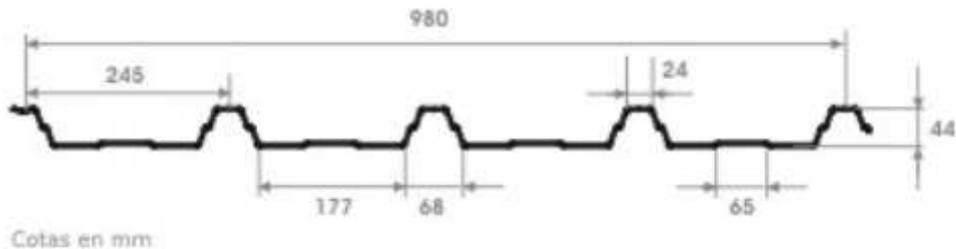
COMPONENTES DEL SISTEMA

- 1.-Perfil Grecado
- 2.-Aislamiento | Panel de lana de roca
- 3.-Impermeabilización | Lámina Asfáltica
- 4.-Protección | Capa de Gravas

ACCESORIOS DEL SISTEMA

- a.-Rematería | Canal Extrema
- b.-Rematería | Perimetral Deck

El perfil metálico que conforma la base resistente tendrá las siguientes dimensiones:



Para el perfil se obtienen diferentes espesores, para el cálculo de el siguiente proyecto se ha determinado seleccionar el de 0'7 mm de espesor, las propiedades de este perfil se muestran a continuación:

Espesor	Peso	M. Inercia	M. Resistente (positivos)	M. Resistente (negativos)
mm	Kg/m ²	mm ⁴ /m	mm ³ /m	mm ³ /m
0,5	4,97	137.173	4.071	3.937
0,6	5,97	172.265	5.186	4.842
0,7	6,96	208.516	6.338	5.764
0,75	7,46	226.991	6.922	6.232
0,8	7,96	245.402	7.512	6.701
1	9,95	308.598	9.359	8.594

CARA A							1 Vano
5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	e(mm)
				77	129	230	0.7
			58	92	153	274	0.8
			73	117	194	347	1.0
		55	86	138	230	411	1.2

Dichos paneles, se colocarán sobre las correas de cubierta separadas a una distancia de 1,6 m.

La cubierta Deck podrá soportar una carga muy superior

Siendo el valor de las acciones actuantes calculadas anteriormente:

Tabla 8. Valores de sobrecargas en las correas de la cubierta en $\frac{kN}{m^2}$

	Carga	Perpendicular
Peso Propio	0,15	0,15
Uso	0,4	0,4
Nieve	0,3	0,3
Viento presión	0,538	0,538
Viento succión	-2,201	-2,201

Conocido el peso propio del panel y atendiendo a los coeficientes anteriormente mencionados, se tienen las siguientes combinaciones de carga para la cubierta.

- Peso propio + sobrecarga de uso:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_U \tag{2}$$

- Peso propio + viento a succión:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_{Vs} \tag{5}$$

- Peso propio + sobrecarga de nieve + viento a presión:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_N + \gamma_G \cdot \psi_0 \cdot q_{Vp} \tag{6}$$

- Peso propio + viento a presión + sobrecarga de nieve:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_{Vp} + \gamma_G \cdot \psi_0 \cdot q_N \quad (8)$$

Hipotesis de carga perp.	
1,35·Pp	0.2025
1,35·Pp+1,5·Uso	0.8025
1,35·pp+1,5Nieve	0.6525
1,35·Pp+1,5·Vp	1.077
0,8·Pp+1,5·Vs	-3.1815
1,35·pp+1,5Nieve+1,5·0,6·Vp	1.1772
0'8·pp+0·Nieve+1,5·0,6·Vs	-1.8609
1,35·Pp+1,5·Vp+0,5·1,5·Nieve	1.302
0,8·Pp+1,5·Vs+0,5·Nieve	-3.1815

Para el estudio a resistencia de la cubierta, las combinaciones de carga más desfavorables son la (5) a succión y la (8) a presión. Por lo tanto, la cubierta deberá poseer una resistencia mayor a los valores señalados en la tabla.

Si interpolamos los valores de la tabla obtendríamos que para la distancia marcada de 1'60metros, la cubierta soportaría aproximadamente una carga de $4 \text{ kN}/\text{m}^2$.

3.1.6 ESTUDIO DEL PANEL DE FACHADA

Para el cerramiento lateral se ha decidió utilizar un panel sándwich del fabricante Metalpanel.

Es el acabado más convencional y económico para cerramientos de fachada . Se puede colocar tanto en posición vertical como horizontal. Sus dos caras metálicas van perfiladas con un ligero nervado trapezoidal de 0,8mm . Este panel tiene buenas resistencias mecánicas y permite alcanzar longitudes amplias.

Su sistema de machihembrado con tornillería oculta,permite acabados limpios y de alto nivel estético, ya que una vez terminada la fachada todas las fijaciones quedan ocultas.



Nuestras líneas de fabricación de panel de poliuretano, conforman el panel con dos caras metálicas y en un proceso continuo de fabricación, inyectan el aislamiento con espumas PUR y PIR, con una densidad de 40kg/m^3 .

Características técnicas del Panel Tapajuntas

	Espesor del panel (mm)						
	30	40	50	60	70	80	100
Longitud del panel (mm)	Estándar de 2500 mm a 16000 mm						
Anchura del panel (mm)	1000 mm						
Densidad del núcleo (kg/m ³)	40 kg/m ³ (± 2)						
Conductividad térmica (W/mK)	0,025						
Coficiente de transmisión térmica (W/m ² K)	0,68	0,53	0,43	0,36	0,31	0,27	0,21
Peso (kg)	10,60 kg/m ²						
SBI Clasificación al fuego (MP PUR B2)	Cs3d0 (estándar del PUR)						

Dichos paneles se colocarán sobre las correas de fachada separadas a una distancia de 1,40 m. Acudiendo a la información técnica ofrecida por el fabricante, relativa a la sobrecarga admisible.

Propiedades Mecánicas y Aislantes del Panel Fachada

Sobrecarga de uso para panel fachada (en Kg/m ²) 2 vanos (3 apoyos)						
Espesor panel (mm)	Distancia entre apoyos (m)					
	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
35	220	158	104	62	55	--
40	244	182	138	123	97	--
50	306	228	183	155	121	78
60	--	256	215	179	140	94
80	--	320	290	264	203	155

En el caso del panel de fachada, únicamente deberá considerarse la acción del peso propio y del viento, por lo que únicamente se consideran las siguientes combinaciones:

- Peso propio:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} \quad (1)$$

- Peso propio + viento a presión:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_{Vp} \quad (4)$$

- Peso propio + viento a succión:

$$\gamma_G \cdot q_{PP} + \gamma_G \cdot q_{Vs} \quad (5)$$

Que para este caso deben descomponerse en sus componentes perpendicular y paralela al plano del de la fachada, empleando en el cálculo de cada una de ellas la acción correspondiente.

❖ Combinaciones de carga perpendiculares

$$1,5 \cdot q_{Vp} \quad (4)$$

$$1,5 \cdot q_{Vs} \quad (5)$$

❖ Combinaciones de carga paralelas

$$1,35 \cdot q_{PP} \quad (4)$$

$$0,8 \cdot q_{PP} \quad (5)$$

Siendo el valor de las acciones actuantes, calculadas anteriormente:

	Caragas kN/m^2	
	Carga perpendicular	Carga paralela
Peso propio	-	0.104
Viento presión	1.02	-
Viento succión	-1.65	-

❖ Combinaciones de carga perpendiculares

$$1,5 \cdot q_{Vp} = 1'53 \text{ kN}/m^2 \quad (4)$$

$$1,5 \cdot q_{Vs} = 2'475 \text{ kN}/m^2 \quad (5)$$

❖ Combinaciones de carga paralelas

$$1,35 \cdot q_{PP} = 0'14 \text{ kN}/m^2 \quad (4)$$

$$0,8 \cdot q_{PP} = 0'083 \text{ kN}/m^2 \quad (5)$$

Para el estudio a resistencia de la fachada, la combinación de carga más desfavorable será la número (5). Por lo que esta deberá poseer una resistencia mayor a:

$$(5) \sqrt{2'475^2 + 0'083^2} = 2'476 \text{ kN/m}^2$$

Con la distancia marcada entre correas de 1'40, se puede observar que el panel tiene una resistencia mayor a la calculada. (Puesto que para una distancia de 1'50m soportaría prácticamente una carga igual a la calculada, entonces a menor distancia mayor carga es capaz de soportar.)

3.1.7 PROGRAMA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL

El cálculo de las correas y la estructura principal de pabellón polideportivo se llevara a cabo mediante el programa de cálculo estructural CYPECAD. Para ello, en primer lugar, se determinarán los parámetros de diseño y datos generales de la obra, mediante el uso del modulo "Generador de pórticos". Dicho módulo, nos permitirá dimensionar las correas de cubierta y fachada, facilitando el listado de los perfiles admisibles, para su elección y posterior comprobación final.

Una vez realizado esto, se exportará la obra al módulo "CYPE 3D" en el que se editará la estructura para adaptarla al diseño del gimnasio, se determinarán las vinculaciones internas y externas, los coeficientes de pandeo, límites de flecha y tipo de perfil de cada elemento para su posterior dimensionamiento.

3.1.7.1 Determinación de los parámetros en el programa de cálculo estructural

Como se ha indicado, el primer paso será determinar los parámetros generales de la obra en el modulo "Generador de pórticos". Para ello, se definirán los siguientes datos en el cuadro de datos de obra que se muestra a continuación:

Datos generales

Número de vanos

Separación entre pórticos m

Con cerramiento en cubierta

Peso del cerramiento kN/m²

Sobrecarga del cerramiento kN/m²

Con cerramiento en laterales

Peso del cerramiento kN/m²

Con sobrecarga de viento

Con sobrecarga de nieve

Combinaciones de cargas para cálculo de correas

Estados límite

E.L.U. de rotura. Acero conformado: CTE DB SE-A

E.L.U. de rotura. Acero laminado: CTE DB SE-A

Cota de nieve

Desplazamientos

Acciones características

Categorías de uso

Acero laminado: CTE DB SE-A

Acero conformado: CTE DB SE-A

De acuerdo a lo establecido en apartados anteriores, se tiene que:

El pabellón polideportivo tendrá una longitud total de 46 metros, estando formada por 9 vanos con una separación de 5'11 metros.

El cerramiento de cubierta se resolverá con una Cubierta Deck con un peso aproximado de $0'15 \text{ kN}/\text{m}^2$.

La sobrecarga del cerramiento corresponderá a la obtenida como mas desfavorable para la categoría de cubiertas ligeras únicamente accesibles para mantenimiento (G1), de valor $0'4 \text{ kN}/\text{m}^2$.

El cerramiento lateral se resolverá con un panel sándwich estándar del fabricante metalpanel con un peso aproximado de $0'11 \text{ kN}/\text{m}^2$.

La normativa aplicable para el cálculo de la sobrecarga de viento será el CTE DB SE-AE, que en el caso del pabellón será correspondiente a una zona eólica C y un grado de aspereza de IV, con los huecos en fachada detallados anteriormente y no abiertos permanentemente.

 Normativa para el cálculo de la sobrecarga de viento

España
 UE
 Alemania
 Bélgica
 Bulgaria
 Francia
 Italia
 Portugal
 Argelia
 Marruecos
 Argentina
 Brasil
 Colombia
 Cuba
 México
 Paraguay
 Perú
 Venezuela
 Canadá
 USA
 India

CTE DB SE-AE NTE

CTE DB SE-AE
Código Técnico de la Edificación.
Documento Básico Seguridad Estructural - Acciones en la Edificación

Zona eólica

A. Velocidad básica: 26 m/s
 B. Velocidad básica: 27 m/s
 C. Velocidad básica: 29 m/s



Grado de aspereza

Única Según dirección
 I II III IV V

Zona urbana, industrial o forestal

Periodo de servicio (años)

Con huecos

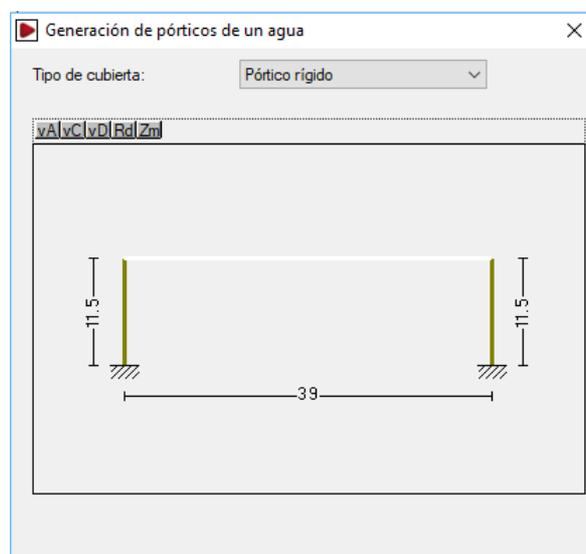
Coefficiente de obstrucción para cubiertas aisladas

La normativa aplicable para el cálculo de la sobrecarga de nieve será el CTE DB SE-AE, cuyos datos podrán asignarse automáticamente seleccionando la localización del pabellón, en este caso, Baracaldo (Provincia de Bizkaia). Además se indica que se encuentra a una cota de 39m.



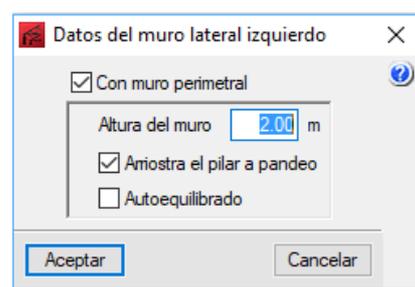


Una vez introducidos los datos de obra, deberá definirse el pórtico tipo que estará formado por un pórtico rígido de cubierta plana con las siguientes características:



Como se ha citado anteriormente la nave constará de dos alturas una de 11m y otra de 8m, pero el programa únicamente nos permite en este módulo diseñar un pórtico tipo por lo que se ha optado por este, y una vez terminado y se pase al CYPE 3D se realizarán los cambios necesarios para que el polideportivo conste de la estructura adecuada.

Además la nave en cuestión tendrá un muro perimetral el cual hay que definir en el programa:



Una vez determinados los parámetros de diseño y datos generales de la obra, se podrá comenzar con el cálculo de las correas de cubierta y laterales.

3.1.8 CALCULO DE CORREAS

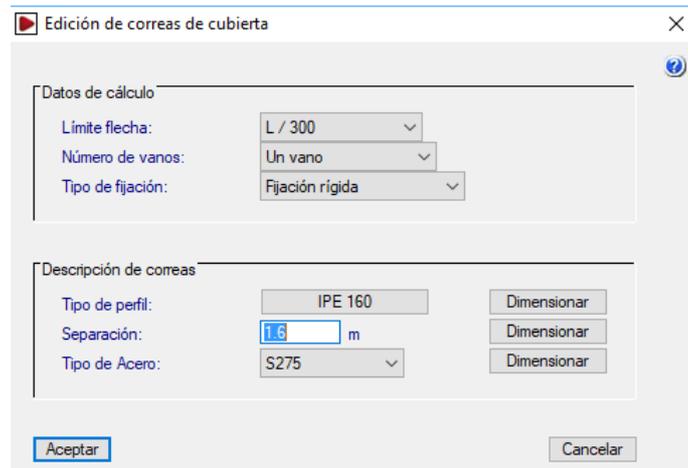
Con anterioridad al dimensionamiento de las correas, deberá determinarse una serie de datos de cálculo adicionales, que serán comunes para las correas de cubierta y de fachada:

- La flecha relativa correspondiente a las correas, deberá establecerse de acuerdo al apartado 4.3.3.1 del CTE DB SE en $1/300$ de la longitud del elemento.
- El número de vanos se establecerá en uno, lo que exige el empotramiento de los extremos de las correas entre sí hasta la longitud total de 5'11 metros, correspondiente a los tres vanos
- El tipo de fijación será rígida, suponiendo que la cubierta, rígida en su plano, irá atornillada a las correas, impidiendo su giro.

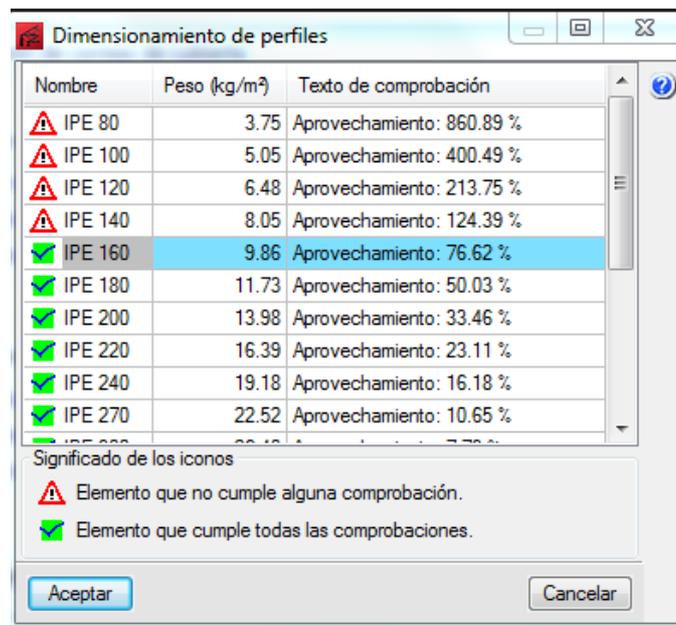
3.1.8.1 Correas de cubierta

El cálculo de las correas de cubierta se llevará a cabo estableciendo a criterio del proyectista el tipo de perfil, separación o tipo de acero:

- Tipo de perfil: Se opta por resolver las correas de cubierta mediante perfiles IPE, debido a mejor respuesta frente a las cargas.
- Separación: Se ha optado por no aumentar el perfil aunque nos permitía una distancia mayor entre correas, ya que se tiene una luz grande y no aumentar el peso de las correas que en un futuro nos podría generar más problemas lo que exige una distancia entre correas de 1,60 metros.
- Tipo de acero: S275



Una vez establecidos los criterios anteriores, se procederá a dimensionar las correas de cubierta, obteniéndose un listado de perfiles admisibles con su correspondiente peso y porcentaje de aprovechamiento, que se muestra:



De entre éstos, se selecciona el perfil de menor peso entre los admisibles, que supondrá un menor coste y que corresponde a un IPE 160, cuyas características y comprobaciones a resistencia y flecha, se muestran a continuación:

Comprobación de resistencia

El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 41.60 %

Barra pésima en cubierta

Perfil: IPE 160 Material: S275		Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
		Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽²⁾ (cm ⁴)	
		38.200, 45.990, 11.500	38.200, 40.880, 11.500	5.110	20.10	869.30	68.31	3.60	
		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.			
		Δ	0.00	1.00	0.00	0.00			
		L_e	0.000	5.110	0.000	0.000			
		C_m	1.000	1.000	1.000	1.000			
C_1	-		1.000						
Notación: Δ : Coeficiente de pandeo L_e : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico									

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	σ_c	$\sigma_{c,Ed}$	N_t	N_c	M_t	M_c	V_t	V_c	M,V_t	M,V_c	N,M_t	N,M,V_t	M	M,V_c	M,V_t	
pésima en cubierta	N.P. ⁽¹⁾	$\kappa: 0.852$ $\kappa_c E f_{c,comp}$ Cumple	$N_{t,Rd} = 0,00$ N.P. ⁽²⁾	$N_{c,Rd} = 0,00$ N.P. ⁽²⁾	$\kappa: 2.555$ m $\kappa = 41.6$	$M_{t,Rd} = 0,00$ N.P. ⁽²⁾	$\kappa: 0$ m $\kappa = 8.7$	$V_{t,Rd} = 0,00$ N.P. ⁽²⁾	$\kappa: 0.852$ m $\kappa < 0.1$	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	$M_{t,Rd} = 0,00$ N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\kappa = 41.6$
Notación: (1) Limitación de esbeltez (2) Absolutamente menor inducida por el eje comprimido N_t : Resistencia a tracción N_c : Resistencia a compresión N_t : Resistencia a flexión eje Y N_c : Resistencia a flexión eje Z V_t : Resistencia a corte Y V_c : Resistencia a corte Z M_t : Resistencia a momento flexor Y y fuerza cortante Z combinadas M_c : Resistencia a momento flexor Z y fuerza cortante Y combinadas N,M_t : Resistencia a flexión y asíl combinadas N,M_t,V_t : Resistencia a flexión, asíl y cortante combinadas M : Resistencia a torsión M,V_c : Resistencia a cortante Z y momento torzor combinadas M,V_t : Resistencia a cortante Y y momento torzor combinadas κ : Distancia al origen de la barra κ_c : Coeficiente de aprovechamiento (%) $N.P.$: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay asíl de compresión ni de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay asíl de tracción. (3) La comprobación no procede, ya que no hay asíl de compresión. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento flexor. (5) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (6) No hay interacción entre momento flexor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) No hay interacción entre asíl y momento flexor ni entre momentos flexores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (8) No hay interacción entre momento flexor, asíl y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (9) La comprobación no procede, ya que no hay momento torzor. (10) No hay interacción entre momento torzor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

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

Se debe satisfacer:

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

29.04 ≤ 250.58 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 145.20 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 5.00 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 7.26 cm²

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

A_{fc,ef} : 6.07 cm²

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

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

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

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

η : 0.416 ✓

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 un punto situado a una distancia de 2.555 m del nudo 38.200, 45.990, 11.500, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(180°) H1.

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

M_{Ed}⁻ : 1.376 t·m

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

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

M_{c,Rd} : 3.308 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} : 123.90 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

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

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

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

γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.087} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 38.200, 45.990, 11.500, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(180°) H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{1.077} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{12.331} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{8.00} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \underline{160.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{5.00} \text{ mm}$$

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:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$29.04 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{29.04}$$

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

λ_{\max} : Esbeltez máxima.

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

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

ψ : Factor de reducción.

$$\psi : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

0.718 t ≤ 6.166 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.852 m del nudo 38.200, 45.990, 11.500, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(180°) H1.

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

V_{Ed} : 0.718 t

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

$V_{c,Rd}$: 12.331 t

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Porcentajes de aprovechamiento:
- Flecha: 76.62 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.800, 45.990, 11.500

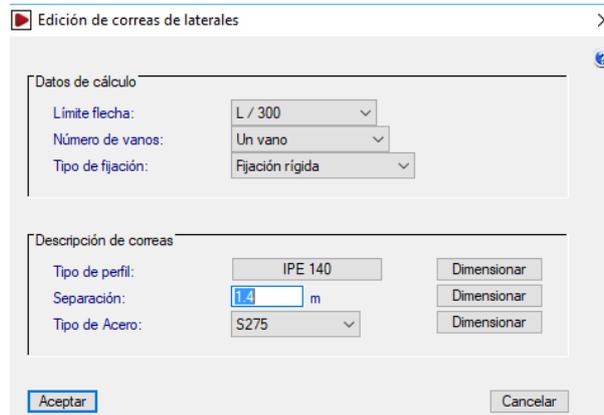
Coordenadas del nudo final: 0.800, 40.880, 11.500

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis 1.00*G1 + 1.00*G2 + 1.00*V(0°) H1 a una distancia 2.555 m del origen en el primer vano de la correa.

(Iy = 869 cm4) (Iz = 68 cm4)

3.1.8.2 Correas laterales

En el caso de las correas laterales, los datos de cálculo correspondientes a la flecha relativa, número de vanos, tipo de perfil y tipo de fijación serán los mismos, debiendo modificarse únicamente la separación entre perfiles.



Una vez establecidos los criterios anteriores, se procederá a dimensionar las correas laterales, obteniéndose un listado de perfiles admisibles con su correspondiente peso y distancia de separación, que se muestra a continuación:

Nombre	Peso (kg/m ²)	Texto de comprobación
⚠ IPE 80	4.61	Aprovechamiento: 651.54 %
⚠ IPE 100	6.22	Aprovechamiento: 305.35 %
⚠ IPE 120	7.97	Aprovechamiento: 164.30 %
✅ IPE 140	9.90	Aprovechamiento: 96.48 %
✅ IPE 160	12.14	Aprovechamiento: 60.06 %
✅ IPE 180	14.43	Aprovechamiento: 39.65 %
✅ IPE 200	17.21	Aprovechamiento: 26.87 %
✅ IPE 220	20.17	Aprovechamiento: 18.84 %
✅ IPE 240	23.61	Aprovechamiento: 13.42 %
✅ IPE 270	27.72	Aprovechamiento: 9.02 %

Significado de los iconos:

- ⚠ Elemento que no cumple alguna comprobación.
- ✅ Elemento que cumple todas las comprobaciones.

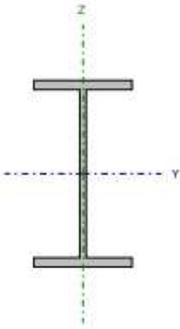
Aceptar Cancelar

De entre éstos, se selecciona el perfil de menor peso entre los admisibles, que supondrá un menor coste y que corresponde a un IPE 140, cuyas características y comprobaciones a resistencia y flecha, se muestran a continuación:

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
 El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
 Aprovechamiento: 44.56 %

Barra pésima en lateral

Perfil: IPE 140 Material: 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)
		0.000, 5.110, 0.650	0.000, 0.000, 0.650	5.110	16.40	541.20	44.92
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.			
i	0.00	1.00	0.00	0.00			
L _w	0.000	5.110	0.000	0.000			
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000			
C _t	-		1.000				
Notación: ⁽¹⁾ : Coeficiente de pandeo L _w : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C _t : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado				
	→	←	N ₁	N ₂	M ₁	M ₂	V ₁	V ₂	M ₁ V ₁	M ₁ V ₂	N ₁ M ₁	N ₁ M ₂	M ₁ V ₁		M ₁ V ₂	M ₂ V ₁	M ₂ V ₂	
pésima en lateral	N.P. ⁽¹⁾	x: 0.852 m k: 1.00 Cumple	N ₁ = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N ₂ = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 2.555 m k: 44.6	M ₁ = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 5.11 m k: 8.1	V ₁ = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.852 m k: < 0.1	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	M ₁ = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽¹⁾	CUMPLE k = 44.6

Notación:
 →: Limitación de esbeltez
 →: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N: Resistencia a tracción
 N: Resistencia a compresión
 M: Resistencia a flexión eje 1
 M: Resistencia a flexión eje 2
 V: Resistencia a corte 1
 V: Resistencia a corte 2
 M: Resistencia a corte 1
 M-V: Resistencia a momento flexor 1 y fuerza cortante 2 combinados
 M-V: Resistencia a momento flexor 2 y fuerza cortante 1 combinados
 N-M: Resistencia a flexión y axial combinados
 N-M-V: Resistencia a flexión, axial y cortante combinados
 M: Resistencia a torsión
 M-V: Resistencia a cortante 2 y momento torzor combinados
 M-V: Resistencia a cortante 1 y momento torzor combinados
 e: Distancia al origen de la barra
 k: Coeficiente de aprovechamiento (%)
 N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
 (1) La comprobación no procede, ya que no hay axial de compresión ni de tracción.
 (2) La comprobación no procede, ya que no hay axial de tracción.
 (3) La comprobación no procede, ya que no hay axial de compresión.
 (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento flexor.
 (5) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
 (6) No hay interacción entre momento flexor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
 (7) No hay interacción entre axial y momento flexor ni entre momentos flexores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
 (8) No hay interacción entre momento flexor, axial y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
 (9) La comprobación no procede, ya que no hay momento torzor.
 (10) No hay interacción entre momento torzor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

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

Se debe satisfacer:

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

26.85 ≤ 248.60 ✓

Donde:

- h_w**: Altura del alma.
- t_w**: Espesor del alma.
- A_w**: Área del alma.
- A_{rc,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.

- h_w** : 126.20 mm
- t_w** : 4.70 mm
- A_w** : 5.93 cm²
- A_{rc,ef}** : 5.04 cm²
- k** : 0.30
- E** : 2140673 kp/cm²
- f_{yf}** : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

26.85 ≤ 248.60 ✓

Donde:

- h_w**: Altura del alma.
- t_w**: Espesor del alma.
- A_w**: Área del alma.
- A_{rc,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.

- h_w** : 126.20 mm
- t_w** : 4.70 mm
- A_w** : 5.93 cm²
- A_{rc,ef}** : 5.04 cm²
- k** : 0.30
- E** : 2140673 kp/cm²
- f_{yf}** : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.446} \quad \checkmark$$

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 un punto situado a una distancia de 2.555 m del nudo 0.000, 5.110, 0.650, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(270°) H1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{1.051} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{2.358} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{88.34} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

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

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

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

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

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.081} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 0.000, 0.650, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(270°) H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.825} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{10.142} \text{ t}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{6.58} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{140.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.70} \text{ mm}$$

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:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$26.85 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : 26.85$$

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

λ_{max} : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{max} : 64.71$$

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

ψ : Factor de reducción.

$$\psi : 0.92$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$0.553 \text{ t} \leq 5.071 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.852 m del nudo 0.000, 5.110, 0.650, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(270°) H1.

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

$$V_{Ed} : 0.553 \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : 10.142 \text{ t}$$

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Porcentajes de aprovechamiento:
- Flecha: 96.48 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.000, 5.110, 0.650

Coordenadas del nudo final: 0.000, 0.000, 0.650

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis 1.00*G1 + 1.00*G2 + 1.00*V(270°) H1 a una distancia 2.555 m del origen en el primer vano de la correa.

($I_y = 541 \text{ cm}^4$) ($I_z = 45 \text{ cm}^4$)

3.1.9 CALCULO DE PÓRTICOS

Una vez realizado el diseño del pórtico tipo, y calculadas las correas de cubierta y laterales, se exportará la obra al módulo "CYPE 3D" en el que se editará la estructura para adaptarla al diseño del pabellón, se verificarán las cargas actuantes, se determinarán las vinculaciones internas y externas, los coeficientes de pandeo, límites de flecha y tipo de perfil de cada elemento para su posterior dimensionamiento.

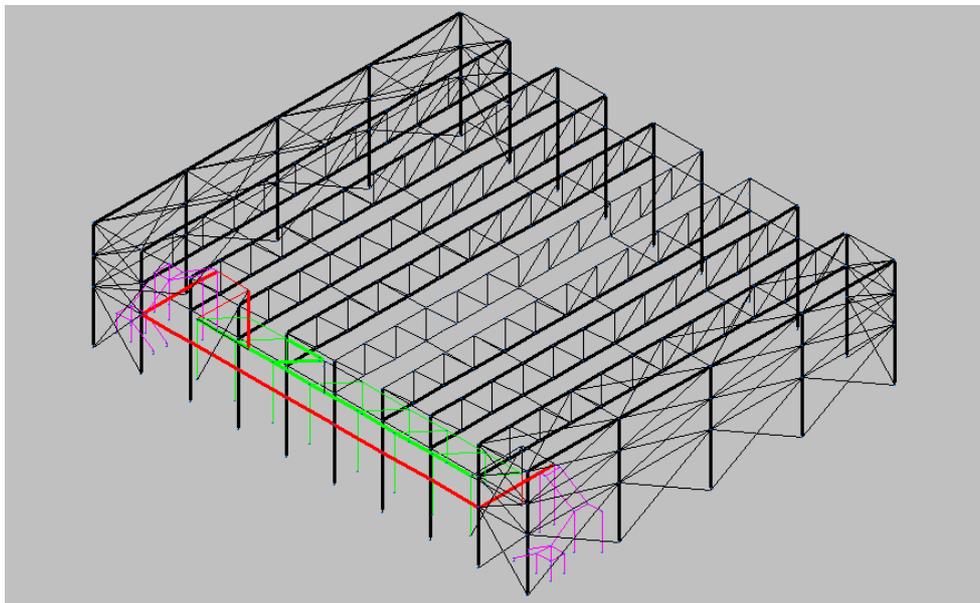
Será necesario establecer inicialmente los siguientes parámetros para la correcta exportación de la obra al CYPE 3D:

Los apoyos de los pórticos principales de la nave serán empotrados por lo que se seleccionará esta opción en la configuración de apoyos. En las opciones de pandeo se seleccionará la opción correspondiente a pórticos intraslacionales, si bien posteriormente se revisarán y adaptarán dichos coeficientes buscando una mayor similitud a la situación real de la obra.

Además, será necesario determinar los datos de la nueva obra relativos a las normas a aplicar, estados límite, calidad del acero y protección ignífuga necesaria y características relativas a la cimentación. Si bien, las opciones seleccionadas podrán editarse posteriormente una vez creada la obra.

De modo que, tras esta configuración inicial, se obtendrá la estructura que se muestra a continuación en el módulo "CYPE 3D":

Esta estructura se editará mediante la adición de las barras necesarias para su arriostramiento longitudinal y de cubierta, entreplanta y escaleras metálicas, obteniendo la siguiente estructura:



Para poder lograr esta estructura, se ha tenido que editar introduciendo barras desde el mismo programa CYPE, pero además de esto para introducir la estructura correspondiente a las escaleras, la grada y la entreplanta en primer lugar se dibujo con las medidas consideradas en el programa de dibujo gráfico Auto CAD y se exporto a la estructura previamente descrita.

3.1.9.1 Datos generales

En primer lugar habrá que determinar los datos generales que aplicamos a nuestra estructura:

Como se puede observar se utilizara:

- Acero laminado : S275
- Acero conformado : S235
- Hormigón : HA-25 excepto para elementos de cimentación, HA-30
- Acero de barras: B 500 S

3.1.9.2 Pandeo de la estructura

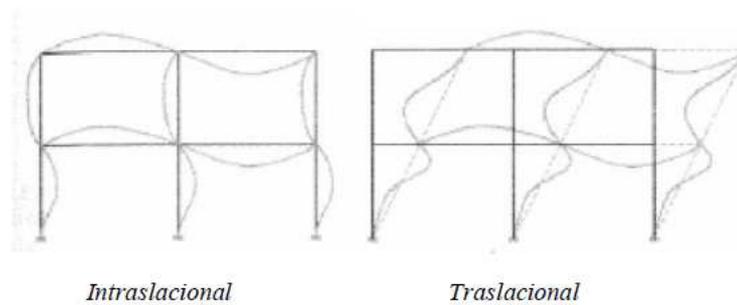
El pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica que condiciona las piezas sometidas a compresión. Éste, limita la capacidad portante de los elementos de forma súbita debido a que al deformarse la barra pierde su forma de máxima resistencia. Sin embargo, no es posible conocer a priori que piezas trabajaran a compresión y bajo que combinaciones de hipótesis lo harán, por lo que será necesario determinar los coeficientes de pandeo de todas ellas en sus dos planos principales, a fin de dimensionarlas considerando la posibilidad de que este fenómeno se produzca.

El coeficiente de pandeo β , a determinar en las barras de la estructura, será un valor mayor o igual que cero que ponderará la longitud de la barra, obteniéndose así la denominada longitud de pandeo. Esta longitud es la distancia entre dos puntos de inflexión consecutivos en la deformada de la barra para ese plano de pandeo. La determinación de este coeficiente para

los distintos elementos depende, en gran medida, de condiciones de contorno como las ligaduras de los extremos de las barras con el resto de la estructura u otras coacciones externas.

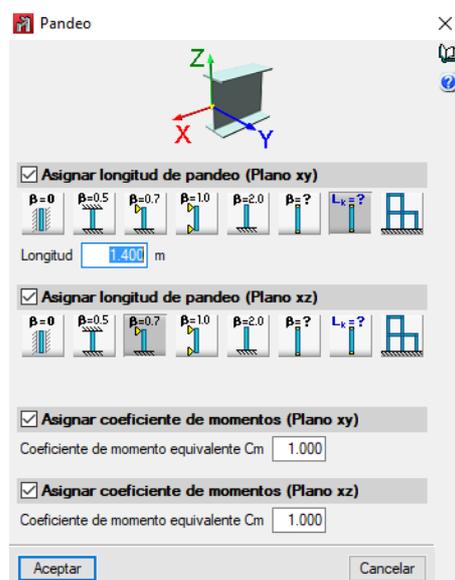
Partiendo de lo establecido en el apartado 6.3.2 del CTE DB SE-A, para piezas de sección y axil constante, los coeficientes de pandeo se relacionan con la descripción de los extremos de las barras. Sin embargo, estos coeficientes, deben editarse de acuerdo a condiciones de contorno determinadas en base al diseño establecido de la estructura.

Uno de los factores de especial importancia, será la consideración del comportamiento de la estructura como traslacional o intraslacional, que como se muestra en la siguiente imagen, determina el pandeo de las barras por el desplazamiento o no de sus nudos.



❖ **Coefficientes de pandeo de las barras**

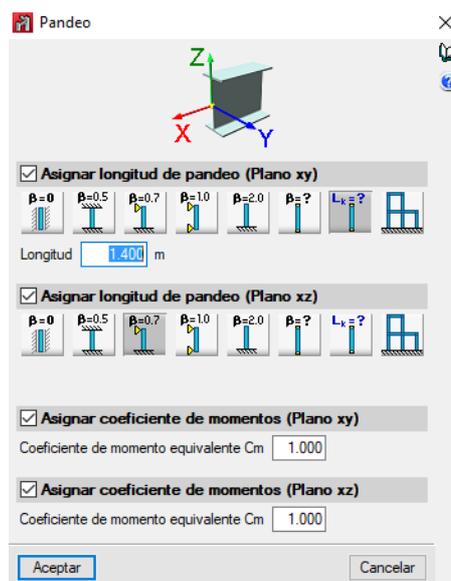
Los coeficientes de pandeo se asignarán de acuerdo a los ejes locales de cada barra, siendo el plano débil de las barras, xy, el paralelo a las alas y el plano fuerte, xz, el del alma de la pieza. La definición de los coeficientes de pandeo, β , en cada uno de los planos se llevará a cabo introduciendo en el cuadro que se muestra a continuación los valores correspondientes para la barra seleccionada:



A fin de evitar errores debidos a la consideración de la longitud de las barras que se ponderan con el coeficiente de pandeo, en aquellos casos de barras con nudos intermedios se optará por establecer directamente la longitud de pandeo correspondiente. Para los coeficientes de momentos en esos mismos planos, se mantendrá el valor unidad ofrecido por defecto por el programa, quedando ligeramente del lado de la seguridad.

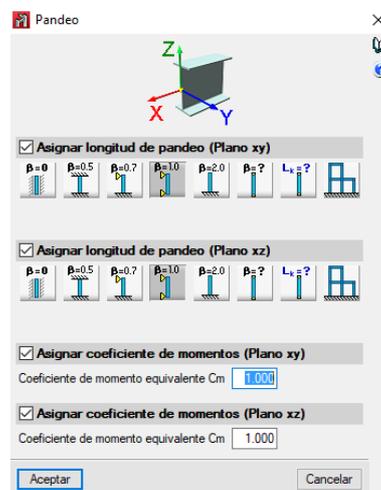
A continuación, se establecen los coeficientes de pandeo o longitudes de pandeo para los distintos elementos de la estructura a estudio:

- PILARES Y PILARILLOS :



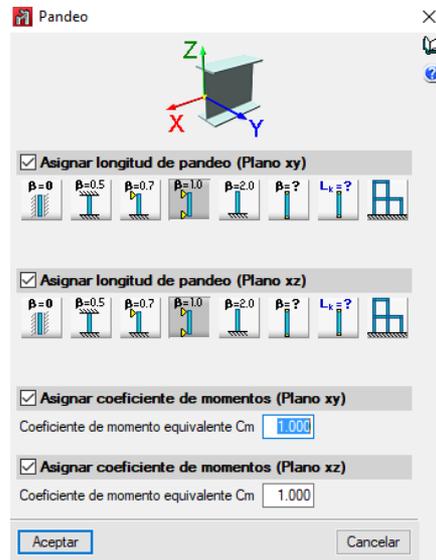
Se considera una estructura empotrada articulada, y se utilizan las correas como arriostramiento, es por eso que se supone una longitud en el plano xy de 1'40 metros.

- ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA CELOSIA



Se consideran elementos biarticulados todos aquellos que conforman la celosía.

- VIGAS DE ATADO



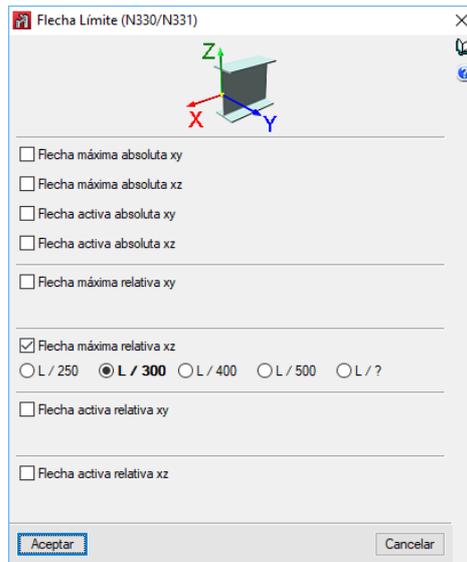
Se consideran elementos biarticulados todos aquellos que conforman la celosía.

3.1.9.3 Flecha

Otro de los aspectos fundamentales en el proceso de cálculo, será limitar la deformación que puedan sufrir los elementos de la estructura como consecuencia de la flexión de sus barras. De acuerdo a lo establecido en el apartado 4.3.3.1 del CTE DB SE, en la evaluación de la aptitud al servicio de la estructura, se considerará que hay un comportamiento adecuado, si se cumple, para las situaciones de dimensionado pertinentes, que el efecto de las acciones no alcanza el valor límite admisible establecido para dicho efecto.

Atendiendo a los valores límite indicados en dicho apartado, se limitará la flecha máxima relativa en el plano xz a $L/300$ para dinteles y vigas de atado. Para las vigas de la entreplanta en cambio se limitará la flecha máxima relativa en el plano xz $L/400$.

La determinación de estos límites en el programa, se llevará a cabo introduciendo en el cuadro que se muestra a continuación los valores correspondientes para la barra seleccionada:

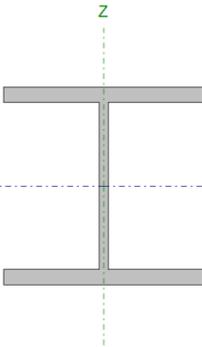


3.1.9.4 Resultados

Una vez establecidas las acciones actuantes y las características de diseño, se realiza el cálculo de la estructura, obteniendo los listados de las comprobaciones de estados límite últimos (E.L.U.) de los elementos. Éstos, contendrán todas las comprobaciones realizadas para dimensionar los elementos de acuerdo a la normativa seleccionada, permitiendo verificar, justificar y optimizar el dimensionamiento de los elementos estructurales. A continuación, se incluyen los listados correspondientes a los elementos más solicitados de cada uno de los grupos definidos.

❖ PILAR HEB 240

Barra N9/N329

Perfil: HE 240 B							
Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas					
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)		
N9	N329	5.580	106.00	11260.00	3923.00	102.70	
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	0.25	0.7	1.00	0.25		
	L _K	1.400	3.906	5.580	1.400		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N69/N30	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 5.48 m η = 0.9	x: 0 m η = 13.4	x: 0 m η = 60.9	x: 0 m η = 8.9	x: 0 m η = 9.0	η = 0.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 66.7	η < 0.1	η = 1.0	x: 0 m η = 9.1	η = 0.3	CUMPLE η = 66.7
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

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

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

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

$$\bar{\lambda} : \quad \underline{0.59} \quad \checkmark$$

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.

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

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

$$\text{A} : \quad \underline{106.00} \text{ cm}^2$$

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

$$\text{f}_y : \quad \underline{265.00} \text{ MPa}$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\text{N}_{cr} : \quad \underline{8070.46} \text{ kN}$$

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.

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

$$\text{N}_{cr,y} : \quad \underline{15296.53} \text{ kN}$$

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

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

$$\text{N}_{cr,z} : \quad \underline{41484.06} \text{ kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\text{N}_{cr,T} : \quad \underline{8070.46} \text{ kN}$$

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

Donde:

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

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

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_w: Constante de alabeo de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

G: Módulo de elasticidad transversal.

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

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

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

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

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

Siendo:

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

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

I_y :	11260.00	cm ⁴
I_z :	3923.00	cm ⁴
I_t :	102.70	cm ⁴
I_w :	486900.00	cm ⁶
E :	210000	MPa
G :	81000	MPa
L_{ky} :	3.906	m
L_{kz} :	1.400	m
L_{kt} :	5.580	m
i₀ :	11.97	cm
i_y :	10.31	cm
i_z :	6.08	cm
y₀ :	0.00	mm
z₀ :	0.00	mm

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

Se debe satisfacer:

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

20.60 ≤ 168.93 ✓

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.

h_w :	206.00	mm
t_w :	10.00	mm
A_w :	20.60	cm ²
A_{fc,ef} :	40.80	cm ²
K :	0.30	
E :	210000	MPa
f_{yf} :	275.00	MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.942 m del nudo N69, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1 + 0.7$

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

$$N_{t,Ed} : \underline{23.40} \quad \text{kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{2675.24} \quad \text{kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{106.00} \quad \text{cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \quad \text{MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \quad \text{MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.106} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.134} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N69, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)1$.

$$N_{c,Ed}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed}: \underline{282.67} \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd}: \underline{2675.24} \text{ kN}$$

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.

$$A: \underline{106.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd}: \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y: \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd}: \underline{2116.96} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A: \underline{106.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd}: \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y: \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_y: \underline{0.91}$$

$$\chi_z: \underline{0.97}$$

$$\chi_T: \underline{0.79}$$

Siendo:

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

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\begin{array}{l} \phi_y : \underline{0.63} \\ \phi_z : \underline{0.55} \\ \phi_T : \underline{0.77} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \alpha_y : \underline{0.34} \\ \alpha_z : \underline{0.49} \\ \alpha_T : \underline{0.49} \end{array}$$

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

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

$$\begin{array}{l} \bar{\lambda}_y : \underline{0.43} \\ \bar{\lambda}_z : \underline{0.26} \\ \bar{\lambda}_T : \underline{0.56} \end{array}$$

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.

$$\begin{array}{l} N_{cr} : \underline{8070.46} \text{ kN} \\ N_{cr,y} : \underline{15296.53} \text{ kN} \\ N_{cr,z} : \underline{41484.06} \text{ kN} \\ N_{cr,T} : \underline{8070.46} \text{ kN} \end{array}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.511} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.609} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N69, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{135.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N69, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{135.55} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \quad M_{c,Rd} : \quad \underline{265.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

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

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

$$W_{pl,y} : \quad \underline{1053.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \quad \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \quad \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

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

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd} \quad M_{b,Rd}^+ : \quad \underline{223.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd} \quad M_{b,Rd}^- : \quad \underline{263.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$W_{pl,y} : \quad \underline{1053.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \quad \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \quad \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

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

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

M_{LTV} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

M_{LTW} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

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

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

E : Módulo de elasticidad.

G : Módulo de elasticidad transversal.

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$\chi_{LT}^+ : \underline{0.84}$$

$$\chi_{LT}^- : \underline{0.99}$$

$$\Phi_{LT}^+ : \underline{0.81}$$

$$\Phi_{LT}^- : \underline{0.53}$$

$$\alpha_{LT} : \underline{0.21}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{0.72}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{0.24}$$

$$M_{cr}^+ : \underline{541.97} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cr}^- : \underline{4770.32} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^+ : \underline{466.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{1857.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW}^+ : \underline{276.58} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW}^- : \underline{4393.75} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$W_{el,y} : \underline{938.33} \text{ cm}^3$$

$$I_z : \underline{9328.00} \text{ cm}^4$$

$$I_t : \underline{102.70} \text{ cm}^4$$

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

$$L_c^+ : \underline{5.580} \text{ m}$$

$$L_c^- : \underline{1.400} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{6.65} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{6.65} \text{ cm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.089} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.944 m del nudo N69, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{11.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.944 m del nudo N69, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{8.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{125.79} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{498.40} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

f_y : 275.0 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

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

η : 0.090 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.944 m del nudo N69, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

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

V_{Ed} : 43.82 kN

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

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

$V_{c,Rd}$: 484.35 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 33.24 cm²

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

h : 240.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 10.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 252.38 MPa

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

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad \mathbf{16.40} < \mathbf{65.92} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{16.40}$$

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

$\lambda_{\text{máx}}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\text{máx}} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{\text{máx}} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

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

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{\text{ref}} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.942 m del nudo N69, para la combinación de acciones $0.8 \cdot \text{PP} + 0.8 \cdot \text{CM1} + 1.5 \cdot \text{V}(270^\circ)\text{H2}$.

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

$$V_{\text{Ed}} : \underline{3.99} \text{ kN}$$

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

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{\text{yd}}}{\sqrt{3}} \quad V_{\text{c,Rd}} : \underline{1244.38} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{85.40} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{106.00} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{206.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$43.82 \text{ kN} \leq 242.17 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2.$$

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

$$V_{Ed} : \underline{43.82} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{484.35} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$3.99 \text{ kN} \leq 622.19 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 3.99 kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: 1244.38 kN

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.560} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.667} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.575} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 4.944 m del nudo N69, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed}$:	<u>155.58</u> kN
$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed}^+$:	<u>131.92</u> kN·m
	$M_{z,Ed}^+$:	<u>0.75</u> kN·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase :	<u>1</u>
$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd}$:	<u>2675.24</u> kN
$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y}$:	<u>265.76</u> kN·m
	$M_{pl,Rd,z}$:	<u>125.79</u> kN·m

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

A : Área de la sección bruta.	A :	<u>106.00</u> cm ²
$W_{pl,y}, W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{pl,y}$:	<u>1053.00</u> cm ³
	$W_{pl,z}$:	<u>498.40</u> cm ³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{yd} :$	<u>252.38</u> MPa
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$		
Siendo:		
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y :$	<u>265.00</u> MPa
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M1} :$	<u>1.05</u>
$k_y, k_z, k_{y,LT}$: Coeficientes de interacción.		
$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$	$k_y :$	<u>1.01</u>
$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$	$k_z :$	<u>1.00</u>
$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$	$k_{y,LT} :$	<u>0.86</u>
$C_{m,y}, C_{m,z}, C_{m,LT}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.	$C_{m,y} :$	<u>1.00</u>
	$C_{m,z} :$	<u>1.00</u>
	$C_{m,LT} :$	<u>1.00</u>
χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$\chi_y :$	<u>0.91</u>
	$\chi_z :$	<u>0.97</u>
χ_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.	$\chi_{LT} :$	<u>0.84</u>
$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	$\bar{\lambda}_y :$	<u>0.43</u>
	$\bar{\lambda}_z :$	<u>0.26</u>
α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	$\alpha_y :$	<u>0.60</u>
	$\alpha_z :$	<u>0.60</u>

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

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad 43.82 \text{ kN} \leq 241.19 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{43.82}{\quad} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{482.37}{\quad} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

$$M_{T,Ed} : \frac{0.09}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : \frac{8.80}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \frac{60.41}{\quad} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \frac{261.90}{\quad} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \frac{275.00}{\quad} \text{ MPa}$$

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

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{\quad}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.091} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen situado a una distancia de 4.944 m del nudo N69, para la acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{43.82} \quad \text{kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.09} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{482.37} \quad \text{kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{484.35} \quad \text{kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{1.48} \quad \text{MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{60.41} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \quad \text{MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \quad \text{MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 4.942 m del nudo N69, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{3.99} \quad \text{kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd}/\sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{1244.26} \quad \text{kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{1244.38} \quad \text{kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.04} \quad \text{MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{60.41} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \quad \text{MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \quad \text{MPa}$$

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

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

❖ PILAR HEB 300

Barra N1/N336

Perfil: HE 300 B							
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)	
N1	N336	5.60	149.10	25170.00	8563.00	185.00	
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	0.25	0.70	0.00	0.00		
	L _K	1.400	3.906	0.00	0.00		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-			1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N69/N30	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 5.46 m η = 2.4	x: 0 m η = 4.7	x: 0 m η = 7.8	x: 0 m η = 21.5	x: 0 m η = 2.2	x: 0 m η = 2.0	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 25.8	η < 0.1	η = 0.6	x: 0 m η = 2.2	x: 0 m η = 2.0	CUMPLE η = 25.8
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _y : Resistencia a corte Z V _z : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

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

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

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

$\bar{\lambda}$: 0.34 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación **Clase** : 1
 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.

$$A : \frac{149.10}{\text{cm}^2}$$

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

$$f_y : \frac{265.00}{\text{MPa}}$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \frac{34193.04}{\text{kN}}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

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

$$N_{cr,y} : \frac{34193.04}{\text{kN}}$$

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

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

$$N_{cr,z} : \frac{90550.10}{\text{kN}}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \frac{\infty}{\text{kN}}$$

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

Donde:

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

$$I_y : \frac{25170.00}{\text{cm}^4}$$

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

$$I_z : \frac{8563.00}{\text{cm}^4}$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \frac{185.00}{\text{cm}^4}$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \frac{1688000.00}{\text{cm}^6}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \frac{210000}{\text{MPa}}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \frac{81000}{\text{MPa}}$$

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

$$L_{ky} : \frac{3.906}{\text{m}}$$

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

$$L_{kz} : \frac{1.400}{\text{m}}$$

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

$$L_{kt} : \frac{0.000}{\text{m}}$$

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

$$i_0 : \frac{15.04}{\text{cm}}$$

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

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta,

$$i_y : \frac{12.99}{\text{cm}}$$

respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

y_0 , z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

i_z :	7.58	cm
y_0 :	0.00	mm
z_0 :	0.00	mm

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

Se debe satisfacer:

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

$$23.82 \leq 169.05 \quad \checkmark$$

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.

h_w :	262.00	mm
t_w :	11.00	mm
A_w :	28.82	cm ²
$A_{fc,ef}$:	57.00	cm ²
k :	0.30	
E :	210000	MPa
f_{yf} :	275.00	MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \quad \underline{0.024} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.942 m del nudo N69, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1+0.7

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

$N_{t,Ed}$:	92.13	kN
--------------	-------	----

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{3763.00} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{149.10} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.045} \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.047} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N69, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)1$.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{168.95} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{3763.00} \text{ kN}$$

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.

$$A : \underline{149.10} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \frac{252.38}{\quad} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \frac{275.00}{\quad} \text{ MPa}$$

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

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{\quad}$$

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:

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

$$N_{b,Rd} : \frac{3572.11}{\quad} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \frac{149.10}{\quad} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \frac{252.38}{\quad} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \frac{275.00}{\quad} \text{ MPa}$$

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

$$\gamma_{M1} : \frac{1.05}{\quad}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_y : \frac{0.58}{\quad}$$

$$\chi_z : \frac{0.52}{\quad}$$

$$\chi_T : \frac{0.34}{\quad}$$

Siendo:

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

$$\phi_y : \frac{0.58}{\quad}$$

$$\phi_z : \frac{0.52}{\quad}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \frac{0.34}{\quad}$$

$$\alpha_z : \frac{0.49}{\quad}$$

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

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

$$\bar{\lambda}_y : \frac{0.34}{\quad}$$

$$\bar{\lambda}_z : \frac{0.21}{\quad}$$

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.

$$N_{cr} : \underline{34193.04} \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} : \underline{34193.04} \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} : \underline{90550.10} \text{ kN}$$

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.078} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N69, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{36.97} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N69, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{32.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{471.70} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{1869.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.215} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.944 m del nudo N69, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{47.28} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.944 m del nudo N69, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H1+0.75·N(EI).

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

$$M_{Ed}^- : \underline{34.31} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{219.60} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{870.10} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.0} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N$ (EI).

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

$$V_{Ed} : \underline{15.30} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{691.40} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{47.45} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \underline{300.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{11.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{262.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$18.91 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.91}$$

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

$\lambda_{\text{máx}}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{\text{máx}}$: 65.92

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

ε : Factor de reducción.

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

ε : 0.94

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

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

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

η : 0.020 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.942 m del nudo N69, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H2.

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

V_{Ed} : 35.39 kN

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

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

$V_{\text{c,Rd}}$: 1752.63 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 120.28 cm²

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

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 149.10 cm²

d : Altura del alma.

d : 262.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 11.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 252.38 MPa

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$15.30 \text{ kN} \leq 345.70 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$V_{Ed} : \underline{15.30} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{691.40} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$35.59 \text{ kN} \leq 876.31 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{35.59} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{1752.63} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.258} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.197} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.232} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H3+0.75·N(EI).

Donde:

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

$$\mathbf{N}_{c,Ed} : \underline{145.71} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{M}_{y,Ed}^+ : \underline{29.95} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M}_{z,Ed}^+ : \underline{34.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

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

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

$$\mathbf{N}_{pl,Rd} : \underline{3763.00} \text{ kN}$$

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.

$$\mathbf{M}_{pl,Rd,y} : \underline{471.70} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M}_{pl,Rd,z} : \underline{219.60} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

A: Área de la sección bruta.

$$\mathbf{A} : \underline{149.10} \text{ cm}^2$$

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

$$\mathbf{W}_{pl,y} : \underline{1869.00} \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{W}_{pl,z} : \underline{870.10} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f}_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$\mathbf{f}_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

$$\mathbf{\gamma}_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y, k_z, k_{y,LT}: Coeficientes de interacción.

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

$$\mathbf{k}_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \quad 1.00$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_{y,LT} : \quad 0.99$$

$C_{m,y}, C_{m,z}, C_{m,LT}$: 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.

$\chi_y : 0.95$
 $\chi_z : 1.00$

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

$\bar{\lambda}_y : 0.34$
 $\bar{\lambda}_z : 0.21$

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

$\alpha_y : 0.60$
 $\alpha_z : 0.60$

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

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad 15.30 \text{ kN} \leq 345.31 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$V_{Ed,z} : 15.30 \text{ kN}$

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

$V_{c,Rd,z} : 690.62 \text{ kN}$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \quad 0.006 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
 $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H4$.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{14.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{97.37} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen nudo N1, para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{15.30} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{690.62} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{691.40} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.41} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{97.37} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.020} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N1, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{35.59} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{1748.61} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{1752.63} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.83} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{97.37} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

γ_{M0} : 1.05

❖ PILARILLO HEB 360

Barra N238/N349

Perfil: HE 300 B							
Material: Acero (S275)							
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas					
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)		
N238	N349	5.60	180.60	43190.00	10140.00	292.50	
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	0.25	0.70	0.00	0.00			
L _K	1.400	3.906	0.00	0.00			
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000			
C ₁	-		1.000				
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z V _y	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N69/N30	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumpl e	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 0.00 m $\eta = NP$	x: 0 m $\eta = 2.6$	x: 0 m $\eta = 59.0$	x: 0 m $\eta = 5.8$	x: 0 m $\eta = 14.6$	x: 0 m $\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 60.9$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.5$	x: 0 m $\eta = 14.6$	$\eta = 2.0$	CUMPL E $\eta = 60.9$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z V _y : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																

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

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

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

$\bar{\lambda}$: 0.29 ✓

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 :	<u>1</u>
A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.	A :	<u>180.60</u> cm ²
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>265.00</u> MPa
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.	N_{cr} :	<u>58672.93</u> kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

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

N_{cr,y} : 58672.93 kN

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

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

N_{cr,z} : 107226.20 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞ kN

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

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y :	<u>43190.00</u>	cm ⁴
I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z :	<u>10140.00</u>	cm ⁴
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t :	<u>292.50</u>	cm ⁴
I_w: Constante de alabeo de la sección.	I_w :	<u>2883000.00</u>	cm ⁶
E: Módulo de elasticidad.	E :	<u>210000</u>	MPa
G: Módulo de elasticidad transversal.	G :	<u>81000</u>	MPa
L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} :	<u>3.906</u>	m
L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} :	<u>1.400</u>	m
L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} :	<u>0.000</u>	m
i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i₀ :	<u>17.18</u>	cm

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

Siendo:

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

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

i_y :	<u>15.46</u>	cm
i_z :	<u>7.49</u>	cm
y_o :	<u>0.00</u>	mm
z_o :	<u>0.00</u>	mm

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

Se debe satisfacer:

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

$$7725.20 \leq 181.57 \checkmark$$

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.

h_w :	<u>315.00</u>	mm
t_w :	<u>12.50</u>	mm
A_w :	<u>39.38</u>	cm ²
$A_{fc,ef}$:	<u>67.50</u>	cm ²
K :	<u>0.30</u>	
E :	<u>210000</u>	MPa
f_{yf} :	<u>275.00</u>	MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.025} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.026} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N69, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{115.12} \quad \text{kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{4558.00} \quad \text{kN}$$

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.

$$A : \underline{180.60} \quad \text{cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{265.00} \quad \text{MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \quad \text{MPa}$$

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:

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

$$N_{b,Rd} : \underline{4418.36} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{180.60} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_y : \underline{0.97}$$

$$\chi_z : \underline{0.99}$$

Siendo:

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

$$\Phi_y : \underline{0.56}$$

$$\Phi_z : \underline{0.53}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

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

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

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

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

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

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

$$N_{cr} : \underline{58672.93} \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} : \underline{58672.93} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{107226.20} \text{ kN}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.590} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N238, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{399.45} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N69, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{335.40} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{677.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{2683.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.058} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N238, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{15.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N238, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{14.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{260.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{1032.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.0} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.146} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N238, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{128.75} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{882.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{60.56} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \underline{360.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$20.88 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{20.88}$$

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

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

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

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

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

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

η : 0.020 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N238, para la combinación de acciones 1.35 PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H3 +0.75·N(EI).

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

V_{Ed} : 4.61 kN

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

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

$V_{c,Rd}$: 2057.82 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 141.23 cm²

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

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 180.60 cm²

d : Altura del alma.

d : 315.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 12.50 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 252.38 MPa

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

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$128.75 \text{ kN} \leq 441.23 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{128.75} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{882.47} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$4.61 \text{ kN} \leq 1028.91 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$V_{Ed} : \underline{4.61} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{2057.82} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.608}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.609} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.375} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en nudo N238, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{96.18} \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{396.29} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.40} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$N_{pl,Rd} : \underline{4558.00} \text{ kN}$$

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.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{677.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{260.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{180.60} \text{ cm}^2$$

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

$$W_{pl,y} : \underline{2683.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{1032.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

k_y, k_z, k_{y,LT}: Coeficientes de interacción.

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

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

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

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

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

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

$$\chi_y : \underline{0.97}$$

$$\chi_z : \underline{0.99}$$

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

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

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.21}$$

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

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

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

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

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad 128.75 \text{ kN} \leq 440.50 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{128.75} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{881.01} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H4$.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : \underline{18.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$$W_T : \text{Módulo de resistencia a torsión.} \quad W_T : \underline{130.00} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$$f_y : \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.146} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen nudo N1, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

$$V_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{128.75} \text{ kN}$$

$$M_{T,Ed} : \text{Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{T,Ed} : \underline{0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : \underline{881.01} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} : \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{pl,Rd} : \underline{882.47} \text{ kN}$$

$$\tau_{T,Ed} : \text{Tensiones tangenciales por torsión.} \quad \tau_{T,Ed} : \underline{0.60} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$$W_T : \text{Módulo de resistencia a torsión.} \quad W_T : \underline{130.00} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N238, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$V_{Ed} : \underline{4.61} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{2054.23} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{2057.82} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.64} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{130.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

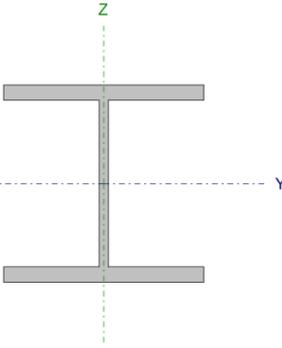
$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

❖ DINTEL PORTICO HASTIAL HEB 240

Barra N42/N341

Perfil: HE 240 B							
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)	
N42	N341	9.750	106.00	11260.00	3923.00	102.70	
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	0.16	0.70	0.00	0.00		
	L _K	1.600	6.825	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N69/N30	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumpl e	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	η = 7.1	η = 15.2	x: 0 m η = 2.2	x: 9.75 m η = 35.6	η < 0.1	x: 9.75m η = 2.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 9.75m η = 41.42	η < 0.1	η = 1.0	η = 9.1	x: 9.75 m η = 2.1	CUMPL E η = 41.2
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _y : Resistencia a corte Z V _z : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

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

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

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

$\bar{\lambda}$: 0.75 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase :** 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A : 106.00 cm²
f_y : 265.00 MPa
N_{cr} : 5010.17 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

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

N_{cr,y} : 5010.17 kN

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

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

N_{cr,z} : 31761.24 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞ kN

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

Donde:

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

I_y : 11260.00 cm⁴

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

I_z : 3923.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 102.70 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 486900.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

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

L_{ky} : 6.825 m

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

L_{kz} : 1.600 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 : 11.97 cm

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

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta,

i_y : 10.31 cm

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	i_z :	6.08	cm
	y_0 :	0.00	mm
	z_0 :	0.00	mm

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 20.60 \leq 168.93 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w :	206.00	mm
t_w : Espesor del alma.	t_w :	10.00	mm
A_w : Área del alma.	A_w :	20.60	cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	40.80	cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k :	0.30	
E : Módulo de elasticidad.	E :	210000	MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} :	275.00	MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \quad \underline{0.071} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H3.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	$N_{t,Ed}$:	190.43	kN
--	--------------	--------	----

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{2675.24} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{106.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.115} \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.152} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI).$$

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

$$N_{c,Ed} : \underline{306.46} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{2675.24} \text{ kN}$$

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.

$$A : \underline{106.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u>	MPa
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	<u>1.05</u>	

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:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \quad \underline{2021.06} \quad \text{kN}$$

Donde:

A : Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. A : 106.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 252.38 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 275.00 MPa

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1 \quad \chi_y : \quad \underline{0.76}$$

$$\chi_z : \quad \underline{0.95}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] \quad \Phi_y : \quad \underline{0.87}$$

$$\Phi_z : \quad \underline{0.57}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

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

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

$$\bar{\lambda}_y : \quad \underline{0.75}$$

$$\bar{\lambda}_z : \quad \underline{0.30}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.	$N_{cr,y}$:	<u>5010.17</u>	kN
$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	$N_{cr,z}$:	<u>31761.24</u>	kN
$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	$N_{cr,T}$:	<u>∞</u>	kN

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N42, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{5.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N69, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{5.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{265.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{1053.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.356} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N341, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{15.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N341, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{44.77} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{125.79} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{498.40} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.0} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.15} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{484.35} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{33.24} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \underline{240.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$16.40 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{16.40}$$

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

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

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

ε : Factor de reducción.

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

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

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

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

η : 0.021 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N341, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

V_{Ed} : 26.09 kN

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

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

$V_{c,Rd}$: 1244.38 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 85.40 cm²

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

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 106.00 cm²

d : Altura del alma.

d : 206.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 10.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 252.38 MPa

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

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$0.15 \text{ kN} \leq 242.17 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$.

$$V_{Ed}: \text{ Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.15} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd}: \text{ Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{484.35} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$20.46 \text{ kN} \leq 622.19 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$.

$$V_{Ed}: \text{ Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{20.46} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd}: \text{ Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{1244.38} \text{ kN}$$

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

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad 20.46 \text{ kN} \leq 622.00 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{20.46}{\quad} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{1243.99}{\quad} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : \underline{8.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{60.41} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H3.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.15} \quad \text{kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd}/\sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{484.17} \quad \text{kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{484.35} \quad \text{kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.13} \quad \text{MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{60.41} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \quad \text{MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \quad \text{MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N341, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$V_{Ed} : \underline{26.09} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{1243.80} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{1244.38} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.17} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{60.41} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

❖ CORDON SUPERIOR PERFIL HEB 180

Barra N155/N160

Perfil: HE 180 B Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N155	N160	3.250	65.30	3831.00	1363.00	42.16
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	3.250	3.250	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 30 Factor de forma: 167.88 m-1 Temperatura máx. de la barra: 607.0 °C Pintura intumescente: 0.4 mm						

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	
N155/N160	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 59.6	x: 3.25 m η = 0.2	x: 3.25 m η = 5.3	η < 0.1	x: 3.25 m η = 0.9	η < 0.1	η < 0.1	x: 3.25 m η = 69.3	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 3.25 m η = 0.9	CUMPLE η = 69.3
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														
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.														

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.

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

λ : 0.82 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.
A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.
 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

Clase: 1

A: 65.30 cm²
 f_y : 275.00 MPa
 N_{cr} : 2674.53 kN

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

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

$N_{cr,y}$: 7517.34 kN

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

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

$N_{cr,z}$: 2674.53 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

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

I_y : 3831.00 cm⁴

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

I_z : 1363.00 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 42.16 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

93750.0

E: Módulo de elasticidad.

I_w : 0 cm⁶

G: Módulo de elasticidad transversal.

E: 210000 MPa

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

G: 81000 MPa

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

L_{ky} : 3.250 m

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

L_{kz} : 3.250 m

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_0 : 8.92 cm

$$i_0 = \sqrt{r_y^2 + r_z^2 + y_0^2}$$

Siendo:

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

$$i_z: \underline{4.57} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$z_0: \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida - Temperatura ambiente

(Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

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

$$17.88 \leq 164.04 \checkmark$$

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:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w: \underline{152.00} \text{ mm}$$

$$t_w: \underline{8.50} \text{ mm}$$

$$A_w: \underline{12.92} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef}: \underline{25.20} \text{ cm}^2$$

$$k: \underline{0.30}$$

$$E: \underline{210000} \text{ MPa}$$

$$f_{yf}: \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta: \underline{0.151} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$.

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

$$N_{t,Ed}: \underline{257.64} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd}: \underline{1710.24} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A: \frac{65.30}{\text{cm}^2}$$

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd}: \frac{261.90}{\text{MPa}}$$

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

Siendo:

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

$$f_y: \frac{275.00}{\text{MPa}}$$

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

$$\gamma_{M0}: \frac{1.05}{\text{MPa}}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta: \frac{0.319}{\checkmark}$$

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

$$\eta: \frac{0.491}{\checkmark}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

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

$$N_{c,Ed}: \frac{545.45}{\text{kN}}$$

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

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

$$N_{c,Rd}: \frac{1710.24}{\text{kN}}$$

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.

$$\text{Clase}: \frac{1}{\text{MPa}}$$

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

$$A: \frac{65.30}{\text{cm}^2}$$

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd}: \frac{261.90}{\text{MPa}}$$

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

Siendo:

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

$$f_y: \frac{275.00}{\text{MPa}}$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del

$$\gamma_{M0}: \frac{1.05}{\text{MPa}}$$

material.

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:

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

$$N_{b,Rd} : \underline{1111.61} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_y : \underline{0.89}$$

$$\chi_z : \underline{0.65}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] \quad \begin{matrix} \underline{0.67} \\ \underline{0.99} \end{matrix}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

λ: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad \begin{matrix} \lambda_y : \underline{0.49} \\ \lambda_z : \underline{0.82} \end{matrix}$$

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

$$N_{cr} : \underline{2674.53} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

$$\mathbf{M_{Ed}^+}: \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{M_{Ed}^+}: \underline{0.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

$$\mathbf{M_{Ed}^-}: \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{M_{Ed}^-}: \underline{0.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{M_{c,Rd}} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \quad \mathbf{M_{c,Rd}}: \underline{126.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$\mathbf{W_{pl,y}}: \underline{481.40} \text{ cm}^3$$

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}}: \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y}: \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta: \underline{0.064} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$.

$$\mathbf{M_{Ed}^+}: \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{M_{Ed}^+}: \underline{2.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo

N160, para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

M_{Ed} : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed} : 3.86 kN·m

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

$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$ $M_{c,Rd}$: 60.50 kN·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. $W_{pl,z}$: 231.00 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 275.00 MPa

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:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta: \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.19 kN

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd}: \underline{306.81} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 20.29 cm²

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección. h : 180.00 mm

t_w : Espesor del alma. t_w : 8.50 mm

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{vd} : \underline{261.90}$ MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{275.00}$ MPa

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

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 14.35 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma. $\lambda_w : \underline{14.35}$

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

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 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. $f_{ref} : \underline{235.00}$ MPa

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{275.00}$ MPa

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{7.97}$ kN

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{792.04} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{52.38} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{152.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$0.19 \text{ kN} \leq 153.40 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.19} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

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

$V_{c,Rd}$

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 7.47 \text{ kN} \leq 396.02 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{7.47} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{792.04} \text{ kN}$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.383} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\gamma_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.417} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.587} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N160, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{545.45} \text{ kN}$

$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed} : \underline{0.05} \text{ kN} \cdot \text{m}$
 $M_{z,Ed} : \underline{3.86} \text{ kN} \cdot \text{m}$

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

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : \underline{1710.2} \text{ kN}$

$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{4} \text{ kN} \cdot \text{m}$
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{126.08} \text{ kN} \cdot \text{m}$
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{60.50} \text{ kN} \cdot \text{m}$

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

A : Área de la sección bruta.	:	A <u>65.30</u> 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} <u>481.40</u> cm ³
	:	W_{pl,z} <u>231.00</u> cm ³
f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.	:	f_{vd} <u>261.90</u> MPa
$f_{vd} = f_y / \gamma_{M1}$		
Siendo:		
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	:	f_y <u>275.00</u> MPa
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	:	γ_{M1} <u>1.05</u>
k_y, k_z : Coeficientes de interacción.		
$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_y \cdot N_{c,Rd}}$:	k_y <u>1.10</u>
$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_z \cdot N_{c,Rd}}$:	k_z <u>1.51</u>
C_{m,y}, C_{m,z} : Factores de momento flector uniforme equivalente.	:	C_{m,y} <u>1.00</u>
	:	C_{m,z} <u>1.00</u>
χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	:	χ_y <u>0.89</u>
	:	χ_z <u>0.65</u>
λ_y, λ_z : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	:	λ_y <u>0.49</u>
	:	λ_z <u>0.82</u>
α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	:	α_y <u>0.60</u>
	:	α_z <u>0.60</u>

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+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

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

$$7.47 \text{ kN} \leq 395.96 \text{ kN}$$



Donde:

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

$$V_{Ed,y} : \underline{7.47} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,y} : \underline{791.93} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.001}$$



El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2$.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{vd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{4.55} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{30.11} \text{ cm}^3$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.001}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.19} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{306.76} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{306.81} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.05} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{30.11} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N160, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

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

$$V_{Ed} : \underline{7.97} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{791.93} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{792.04} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.05} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{30.11} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

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:

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

$$\eta : \underline{0.317} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.596} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{257.78} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{813.47} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia

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

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_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

A: 65.30 cm²

f_{yd}: 124.57 MPa

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

Siendo:

f_{y,0}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

f_{y,0}: 124.57 MPa

γ_{M,0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M,0}: 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}: 432.80 kN

Donde:

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

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

A: 65.30 cm²

f_{yd}: 124.57 MPa

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

Siendo:

f_{y,0}: 124.57 MPa

γ_{M,0}: 1.00

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

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

χ_y: 0.78

χ_z: 0.53

Siendo:

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

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y: 0.49

α_z: 0.49

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:

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

: $\frac{0.00}{2}$ ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(270°)H2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ 0.03 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- 0.13 kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$ 59.97 kN·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. $W_{pl,y}$ 481.4 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} 124.5 MPa

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

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,0}$ 124.5 MPa

$$f_{y,0} = f_y \cdot k_{y,s}$$

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M,0}$ 1.00

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \frac{0.0}{53} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H3.

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

$$M_{Ed}^+ : \frac{0.12}{8} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

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

$$M_{Ed}^- : \frac{1.53}{8} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \frac{28.7}{8} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

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

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

$$W_{pl,z} : \frac{231.00}{8} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \frac{124.57}{8} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_{y,e} : \frac{124.57}{8} \text{ MPa}$$

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

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

$$\gamma_{M,e} : \frac{1.00}{1}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta < \frac{0.001}{1} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.07 kN

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{vd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd}: \underline{145.93} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 20.29 cm²

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección. h : 180.00 mm

t_w : Espesor del alma. t_w : 8.50 mm

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{vd} : 124.57 MPa

$$f_{vd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la $f_{y,0}$: 124.57 MPa

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,0}$: 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:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad \frac{14.3}{5} < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma. λ_w : 14.35

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

$\lambda_{m\acute{a}x}$: 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} : 235.00 MPa

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 275.00 MPa

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N160, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{3.31} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{376.73} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{52.38} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{65.30} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{152.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.50} \text{ mm}$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{124.57} \text{ MPa}$$

$$f_{vd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{124.57} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 0.07 \text{ kN} \leq 72.97 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.07 kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: 145.93 kN

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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 3.16 \text{ kN} \leq 188.37 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 3.16 kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: 376.73 kN

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:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta: \quad \underline{0.370} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\gamma_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta: \quad \underline{0.464} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta: \quad \underline{0.693} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N160, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 257.78 kN

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

$$M_{y,E} : \frac{0.03}{m} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,E} : \frac{1.53}{m} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$Clase : \frac{1}{m}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \frac{813.47}{m} \text{ kN}$$

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

$$M_{pl,Rd,y} : \frac{59.97}{m} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \frac{28.78}{m} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

A: Área de la sección bruta.

$$A : \frac{65.30}{m^2} \text{ cm}^2$$

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

$$W_{pl,y} : \frac{481.40}{m^3} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \frac{231.00}{m^3} \text{ cm}^3$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \frac{124.57}{m} \text{ MPa}$$

$$f_{vd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \frac{124.57}{m} \text{ MPa}$$

$$f_{y,0} = f_y \cdot k_{y,s}$$

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

$$f_y : \frac{275.00}{m} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,0} : \frac{1.00}{m}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

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

$$k_y : \frac{1.16}{m}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \frac{1.83}{m}$$

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

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

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

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

$$\chi_y : \frac{0.78}{m}$$

$$\chi_z : \frac{0.53}{m}$$

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

$$\lambda_y : \frac{0.60}{m}$$

$$\lambda_z : \frac{1.01}{m}$$

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

$$\alpha_y : \frac{0.60}{m}$$

$$\alpha_z : \frac{0.60}{m}$$

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+CM1+0.5·V(0°)H2.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2} \quad 3.16 \text{ kN} \leq 188.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,y} : \underline{3.16} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,y} : \underline{376.70} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(90°)H2.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{vd} \quad M_{T,Rd} : \underline{2.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{30.11} \text{ cm}^3$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{124.57} \text{ MPa}$$

$$f_{vd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{124.57} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

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

$\eta < \underline{0.001}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H1.

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

V_{Ed}: 0.07 kN

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

M_{T,Ed}: 0.00 kN·m

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}} \cdot V_{pl,Rd}}$$

V_{pl,T,Rd}: 145.92 kN

Donde:

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

V_{pl,Rd}: 145.93 kN

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

τ_{T,Ed}: 0.02 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_T}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T: 30.11 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 124.57 MPa

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

Siendo:

f_{y,0}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

f_{y,0}: 124.57 MPa

γ_{M,0}: Coeficiente parcial de seguridad del

γ_{M,0}: 1.00

material. _____

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

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

η : 0.009 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^simos se producen en el nudo N160, para la combinaci3n de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de c^lculo p^simo.

V_{Ed}: 3.31 kN

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de c^lculo p^simo.

M_{T,Ed}: 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de c^lculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd}: 376.7 kN

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de c^lculo.

V_{pl,Rd}: 376.7 kN

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsi3n.

τ_{T,Ed}: 0.02 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_T}$$

Siendo:

W_T: M3dulo de resistencia a torsi3n.

W_T: 30.11 cm³

f_{yd}: Resistencia de c^lculo del acero.

f_{yd}: 124.5 MPa

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

Siendo:

f_{y,0}: L^lmite el^lstico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

f_{y,0}: 124.5 MPa

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

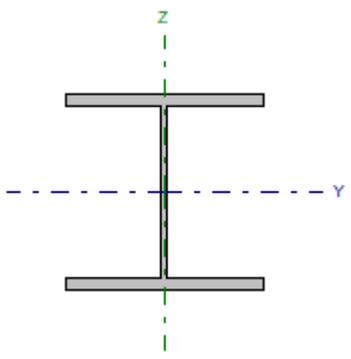
γ_{M,0}: Coeficiente parcial de

γ_{M,0}: 1.00

seguridad del material.

- ❖ CORDON SUPERIOR PERFIL HEB 180
- ❖ CORDON INFERIOR PERFIL HEB 200

Barra N161/N162

Perfil: HE 200 B Material: Acero (S275)							
Nodos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N161	N162	3.250	78.10	5696.00	2003.00	59.28	
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L _K	3.250	3.250	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 30 Factor de forma: 156.97 m ⁻¹ Temperatura máx. de la barra: 588.5 °C Pintura intumescente: 0.4 mm							

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

La esbeltez reducida λ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

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

λ: 0.74 ✓

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: 78.10 cm²
275.0

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

f_y: 0 MPa
3930.

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr}: 37 kN

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}: 11176
.92 kN

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

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

$$N_{cr,z} : \frac{3930.}{37} \text{ kN}$$

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

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

Donde:

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

$$I_y : \frac{5696.}{00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \frac{2003.}{00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \frac{59.28}{} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \frac{17110}{0.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \frac{21000}{0} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \frac{81000}{} \text{ MPa}$$

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

$$L_{ky} : \frac{3.250}{} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \frac{3.250}{} \text{ m}$$

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

$$L_{kt} : \frac{0.000}{} \text{ m}$$

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

$$i_0 : \frac{9.93}{} \text{ cm}$$

$$\cdot y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

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:

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

$$18.89 \leq 163.60 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>170.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>9.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>15.30</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>30.00</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \quad \underline{0.152} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

$$N_{t,Ed} : \text{Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{t,Ed} : \underline{310.88} \text{ kN}$$

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{t,Rd} : \underline{2045.48} \text{ kN}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>78.10</u> cm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>261.90</u> MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>275.00</u> MPa
γ_{M0} : Coeficiente parcial de	γ_{M0} : <u>1.05</u>

seguridad del material. _____

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.082} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.116} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H3.

$$N_{c,Ed} : \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{166.73} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{2045.48} \text{ kN}$$

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.

$$A : \underline{78.10} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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:

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

$$N_{b,Rd} : \underline{1432.40} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{78.10} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_y : \underline{0.91}$$

$$\chi_z : \underline{0.70}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] = \frac{0.64}{0.91}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

λ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} : \underline{0.44}$$

$$: \underline{0.74}$$

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

$$N_{cr} : \underline{3930.37} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N161, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H3+0.75·N(EI).

$$M_{Ed}^+ : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{Ed}^+ : \underline{0.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N161, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H2.

$$M_{Ed}^- : \text{Momento flector solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{Ed}^- : \underline{0.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \quad M_{c,Rd} : \underline{168.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$W_{pl,y}$: 642.50 cm³

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{vd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

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

Se debe satisfacer:

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

η : 0.066 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N162, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H3.

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

M_{Ed}^+ : 2.51 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N162, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

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

M_{Ed}^- : 5.29 kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: 80.09 kN·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

$W_{pl,z}$: 305.80 cm³

correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{vd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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:

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

$\eta < \underline{0.001}$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.11 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 375.76 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 24.85 cm²

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

h : 200.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 9.00 mm

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{vd} : 261.90 MPa

$$f_{vd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del

γ_{M0} : 1.05

material. _____

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:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 14.89 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

 λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 14.89

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

 $\lambda_{m\acute{a}x}$: 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} : 235.00 MPa

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \quad \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N162, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 8.80 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \quad \underline{949.60} \quad \text{kN}$$

Donde:

 A_v : rea transversal a cortante.

A_v : 62.80 cm²

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

 A : rea de la sección bruta.

A : 78.10 cm²

d: Altura del alma. **d**: 170.00 mm

t_w: Espesor del alma. **t_w**: 9.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}**: 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y**: 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}**: 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.11 \text{ kN} \leq 187.88 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}**: 0.11 kN

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V_{c,Rd}**: 375.76 kN

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}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$6.78 \text{ kN} \leq 474.80 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 6.78 kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 949.60 kN

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 0.2
19 ✓

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η 0.0
66 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N162, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 310
d .88 kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}$: 0.0 kN
+ 9 ·m

$M_{z,Ed}$: 5.2 kN
- 9 ·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.

$N_{pl,Rd}$: 204
5.4 kN
8

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y}$: 168 kN
.27 ·m

$M_{pl,Rd,z}$: 80. kN
09 ·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{ef,Ed}$: 0.0 kN
0 ·m

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$\sigma_{co,m,Ed}$: 0.0 M
0 Pa

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \dots$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$W_{y,com}$: 642 m
.50 ³

A: Área de la sección bruta.

A: 78. c

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} = \frac{10 \text{ m}^2}{.27} \cdot kN = 37.04 \text{ kN} \cdot m$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$6.78 \text{ kN} \leq 474.68 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} = 6.78 \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} = 949.36 \text{ kN}$$

Resistencia a torsión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta = 0.001 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} = 0.01 \text{ kN} \cdot m$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} = 5.98 \text{ kN} \cdot m$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 39.52 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.90 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.00 \text{ MPa}$$

γ_{MO} :

$$\gamma_{MO} = 1.05$$

Coficiente
parcial de
seguridad del
material.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinaci3n de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.11 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: 0.01 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd}$$
: 375.61 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd}$$
: 375.76 kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsi3n.

$$\tau_{T,Ed}$$
: 0.15 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_T}$$

Siendo:

W_T : M3dulo de resistencia a torsi3n.

$$W_T$$
: 39.52 cm³

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd}$$
: 261.90 MPa

$$f_{vd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico.
(CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y$$
: 275.00 MPa

γ_{M0} : Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0}$$
: 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^{és}imos se producen en el nudo N162, para la combinaci3n de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

$$V_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante solicitante de c3lculo p3simo.} \quad V_{Ed} : \underline{8.80} \text{ kN}$$

$$M_{T,Ed} : \text{Momento torsor solicitante de c3lculo p3simo.} \quad M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de c3lculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : \underline{949.36} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de c3lculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{949.60} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsi3n.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.10} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_t : M3dulo de resistencia a torsi3n.

$$W_t : \underline{39.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de c3lculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : L3mite el3stico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracci3n - Situaci3n de incendio (CTE DB SE-A, Art3culo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.138} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de c3lculo p^{és}imo se produce para la combinaci3n de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

$$N_{t,Ed} : \text{Axil de tracci3n solicitante de c3lculo p3simo.} \quad N_{t,Ed} : \underline{149.65} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{1084.87} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{78.10} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{138.91} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

f_{y,0}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{138.91} \text{ MPa}$$

$$f_{y,s} = f_y \cdot k_{y,s}$$

γ_{M,0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

Resistencia a compresión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N161, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H3.

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.13} \text{ l·m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N161, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(90°)H2.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.17} \text{ l·m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{89.25} \text{ l·m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la

$$Clase : \underline{1}$$

capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y}: \underline{642.50} \text{ } \gamma^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd}: \underline{138.91} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\theta}: \underline{138.91} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M,\theta}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\theta}: \underline{1.00}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta: \underline{0.054} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+: \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N162, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^-: \underline{2.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd}: \underline{42.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z}: \underline{305.80} \text{ cm}^3$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{vd} : 138.91 MPa
 $f_{vd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$
 Siendo:
 $f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,0}$: 138.91 MPa
 $f_{y,e} = f_y \cdot k_{y,s}$
 $\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M,0}$: 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:

$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$ $\eta < \underline{0.001}$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(90°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.03 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$ $V_{c,Rd}$: 199.29 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 24.85 cm²

$A_v = h \cdot t_w$

Siendo:

h : Canto de la sección. h : 200.00 mm

t_w : Espesor del alma. t_w : 9.00 mm

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{vd} : 138.91 MPa

$f_{vd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,0}$: 138.91 MPa

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de $\gamma_{M,0}$: 1.00

seguridad del material.

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:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$14.89 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

 λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 14.89

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

 $\lambda_{\text{máx}}$: Esbeltez máxima.

$\lambda_{\text{máx}}$: 64.71

$$\lambda_{\text{máx}} = 70 \cdot \varepsilon$$

 ε : Factor de reducción.

ε : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

 f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a corte Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1$$

η : 0.008 \checkmark

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N162, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 3.83 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{\text{c,Rd}}$ viene dado por:

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{\text{yd}}}{\sqrt{3}}$$

$V_{\text{c,Rd}}$: 503.64 kN

Donde:

 A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 62.80 cm²

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

 A : Área de la sección bruta.

A : 78.10 cm²

d: Altura del alma. **d**: 170.00 mm
t_w: Espesor del alma. **t_w**: 9.00 mm

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}**: 138.91 MPa

$$f_{vd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

f_{y,0}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. **f_{y,0}**: 138.91 MPa

γ_{M,0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M,0}: 1.00

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.03 \text{ kN} \leq 99.65 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(90°)H2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed}: 0.03 kN

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{c,Rd}: 199.29 kN

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}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$2.86 \text{ kN} \leq 251.82 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed}: 2.86 kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: 503.64 kN

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:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.192} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.054} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^{er}simos se producen en el nudo N162, para la combinaci3n de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracci3n solicitante de c3lculo p^{er}simo.
 $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de c3lculo p^{er}simos, seg^{un} los ejes Y y Z, respectivamente.

Clase: Clase de la secci3n, seg^{un} la capacidad de deformaci3n y de desarrollo de la resistencia pl3stica de sus elementos planos, para axil y flexi3n simple.

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracci3n.

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexi3n de la secci3n bruta en condiciones pl3sticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Art3culo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de c3lculo p^{er}simo.

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensi3n combinada en la fibra extrema comprimida.

$N_{t,Ed}$: 149.65 kN
 $M_{v,Ed}^+$: 0.03 kN·m

$M_{z,Ed}^-$: 2.30 kN·m
Clase: 1

$N_{pl,Rd}$: 1084.8 kN
 $M_{pl,Rd,y}$: 7 kN·m

$M_{pl,Rd,z}$: 89.25 kN·m

$M_{pl,Rd,z}$: 42.48 kN·m

$M_{ef,Ed}$: 0.00 kN·m

$\sigma_{com,Ed}$: 0.00 MPa

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N}{A}$$

$W_{y,com}$: M3dulo resistente de la secci3n referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

A: 3rea de la secci3n bruta.

$W_{y,com}$: 642.50 cm³

A: 78.10 cm²

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de c3lculo.

$M_{b,Rd,y}$: 89.25 kN·m

Resistencia a flexi3n, axil y cortante combinados - Situaci3n de incendio (CTE DB SE-A, Art3culo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No es necesario reducir las resistencias de c3lculo a flexi3n y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por

esfuerzo cortante y, 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+CM1+0.5·V(0°)H2.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2} \quad 2.86 \text{ kN} \leq 251.78 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{2.86} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{503.56} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(90°)H2.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : \underline{3.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{39.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{138.91} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{138.91} \text{ MPa}$$

$$f_{y,s} = f_y \cdot k_{y,s}$$

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta < \underline{0.001}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(90°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{vd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : \underline{199.24} \text{ kN}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : \underline{199.29} \text{ kN}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{0.05} \text{ MPa}$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_T}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{39.52} \text{ cm}^3$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{vd} : \underline{138.91} \text{ MPa}$

$$f_{vd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,\theta}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$f_{y,\theta} : \underline{138.91} \text{ MPa}$

$\gamma_{M,\theta}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,\theta} : \underline{1.00}$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

η : 0.008 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N162, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 3.83 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 503.56 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 503.64 kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 0.03 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 39.52 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 138.91 MPa

$$f_{yd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$f_{y,0}$: 138.91 MPa

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,0}$: 1.00

❖ DIAGONALES CELOSIA PERFIL HEB 140

Barra N125/N124

Perfil: HE 140 B						
Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N125	N124	4.423	43.00	1509.00	549.70	20.06
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	4.423	4.423	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 30						
Factor de forma: 197.99 m-1						
Temperatura máx. de la barra: 650.0 °C						
Pintura intumescente: 0.4 mm						

Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ : 1.42 ✓

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

A : 43.00 cm²

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.

f_y :	<u>275.00</u>	MPa
N_{cr} :	<u>582.40</u>	kN

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

$N_{cr,y}$: 1598.76 kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

$N_{cr,z}$: 582.40 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

$N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 1509.00 cm⁴

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 549.70 cm⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 20.06 cm⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w : 22480.00 cm⁶

E : Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G : Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 4.423 m

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 4.423 m

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_0 : 6.92 cm

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:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 16.57 \leq 159.27 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>116.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>7.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>8.12</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>16.80</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.075} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N124, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	$N_{t,Ed}$: <u>84.06</u> kN
--	------------------------------

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{t,Rd} : \underline{1126.19} \text{ kN}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>43.00</u> cm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>261.90</u> MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>275.00</u> MPa
---	---------------------------

γ_{M0} :
Coeficiente
parcial de
seguridad
del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta: \underline{0.058} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad \eta: \underline{0.169} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N125, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 64.80 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd}: \frac{1126.1}{9} \text{ kN}$$

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: 43.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente

γ_{M0} : 1.05

parcial de
seguridad del
material.

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:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{383.06} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{43.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico.
(CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.69}$$

$$\chi_z : \underline{0.34}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + \frac{(\bar{\lambda})^2}{2} \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

λ : Esbeltez reducida.

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N124, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N124, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{64.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{245.40} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico.
(CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N124, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N124, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.66} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{31.38} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{119.80} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico.
(CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1.$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{198.39} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{13.12} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \underline{140.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 13.14 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$$\lambda_w: \text{Esbeltez del alma.} \quad \lambda_w: \underline{13.14}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$$\lambda_{\text{máx}}: \text{Esbeltez máxima.} \quad \lambda_{\text{máx}}: \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\text{máx}} = 70 \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon: \text{Factor de reducción.} \quad \varepsilon: \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$$

Siendo:

$$f_{\text{ref}}: \text{Límite elástico de referencia.} \quad f_{\text{ref}}: \underline{235.00} \text{ MPa}$$

$$f_y: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_y: \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1 \quad \eta: \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N125, para la combinación de acciones $1.35 \cdot \text{PP} + 0.8 \cdot \text{CM1} + 1.5 \cdot \text{V}(0^\circ)\text{H2} + 0.75 \cdot \text{N}(\text{EI})$.

$$V_{\text{Ed}}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{\text{Ed}}: \underline{0.79} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{\text{c,Rd}}$ viene dado por:

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{\text{yd}}}{\sqrt{3}} \quad V_{\text{c,Rd}}: \underline{527.42} \text{ kN}$$

Donde:

$$A_v: \text{Área transversal a cortante.} \quad A_v: \underline{34.88} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A:** 43.00 cm²
d: Altura del alma. **d:** 116.00 mm
t_w: Espesor del alma. **t_w:** 7.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}:** 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y:** 275.00 MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}:** 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V_{c,Rd}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.04 \text{ kN} \leq 99.19 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}$$

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{198.39} \text{ kN}$$

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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 0.79 \text{ kN} \leq 263.71 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.79} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{527.42} \text{ kN}$

Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.075} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\gamma_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.096} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.188} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N124, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{64.00} \text{ kN}$

$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. $M_{z,Ed} : \underline{0.51} \text{ kN}\cdot\text{m}$
Clase: $\underline{1}$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : \underline{1126.19} \text{ kN}$

$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \underline{64.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : \underline{31.38} \text{ kN}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)**A:** Área de la sección bruta.

$$A: \frac{43.00}{\text{cm}^2}$$

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y}: \frac{245.40}{\text{cm}^3}$$

$$W_{pl,z}: \frac{119.80}{\text{cm}^3}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd}: \frac{261.90}{\text{MPa}}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y: \frac{275.00}{\text{MPa}}$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1}: \frac{1.05}{}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y: \frac{1.05}{}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z: \frac{1.23}{}$$

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.

$$\chi_y: \frac{0.69}{}$$

$$\chi_z: \frac{0.34}{}$$

λ_y, λ_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\lambda_y: \frac{0.86}{}$$

$$\lambda_z: \frac{1.42}{}$$

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y: \frac{0.60}{}$$

$$\alpha_z: \frac{0.60}{}$$

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+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(EI).

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.79 \text{ kN} \leq 263.71 \text{ kN}$$



Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.79} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{527.42} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{2.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{16.72} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico.
(CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{198.32} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{198.39} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.13} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_T}$$

Siendo:

W_T :
Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{16.72} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico.
(CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N125, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(EI)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.77} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{527.31} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{527.42} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.08} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_T}$$

Siendo:

W_T :
Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{16.72} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico.
(CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.092} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N124, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{38.13} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{\frac{413.2}{2}} \text{ kN}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{43.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{96.10} \text{ a}$$

$$f_{yd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

Resistencia a compresión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{b,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.050} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N125, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H3.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{4.73} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \frac{413.2}{2} \text{ kN}$$

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.

$$A : \underline{43.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_{y,s} = f_y \cdot k_{y,s}$$

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

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:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{94.76} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{43.00} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

material.

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.48}$$

$$\chi_z : \underline{0.23}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] \frac{3}{6}$$

α :
Coeficiente de imperfección elástica.
 λ : Esbeltez reducida.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda} = k_{\lambda,s} \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \cdot 10$$

$$\lambda_z : \underline{1.82}$$

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:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N124, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(90°)H2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N124, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{23.58} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la **Clase:** 1

capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{245.40} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.032} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N124, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H3.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{11.51} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{119.80} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$:
Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M,0}$:
Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

Resistencia a corte Z - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{72.79} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{13.12} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h :

Canto de la sección.

$$h : \underline{140.00} \text{ mm}$$

t_w :

Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{y,0} / \gamma_{M,0}$$

Siendo:

$f_{y,0}$:

Límite elástico o reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M,0}$:

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

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:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 13.14 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{13.14}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{\text{máx}}$: 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
o de
refere
ncia.

$$f_{\text{ref}} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y :
Límite
elástico.
(CTE
DB
SE-A,
Tabla
4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{\text{Ed}}}{V_{\text{c,Rd}}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N125, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{\text{Ed}} : \underline{0.57} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{\text{c,Rd}}$ viene dado por:

$$V_{\text{c,Rd}} = A_v \cdot \frac{f_{\text{yd}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,R} : \underline{193.52} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{34.88} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A:

Área de la sección bruta.

$$A : \underline{43.00} \text{ cm}^2$$

d:

Altura del alma.

$$d : \underline{116.00} \text{ mm}$$

t_w:

Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.00} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{y,e} / \gamma_{M,e}$$

Siendo:

f_{y,0}:

Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$$f_{y,e} = f_y \cdot k_{y,e}$$

2
7
5
. N
f: 0 P
v 0 a
k 0
y .
, : 3
0 5

γ_{M,0}:
Coefici

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

ente
parcial
de
seguri
dad
del
materi
al.

**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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.01 \text{ kN} \leq 36.40 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{72.79} \text{ kN}$$

**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 $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.57 \text{ kN} \leq 96.76 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.57} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd} : \underline{193.52} \text{ kN}$

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:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.120} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.030} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N125, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H2.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed} : \underline{37.14} \text{ kN}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$M_{z,Ed} : \underline{0.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$N_{pl,Rd} : \underline{413.22} \text{ kN}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y} : \underline{23.58} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : \underline{11.51} \text{ kN}\cdot\text{m}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{ef,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$\sigma_{com,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \dots$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema

$W_{y,com} : \underline{245.40} \text{ cm}^3$

comprimida,
alrededor del eje Y.

A: Área de la
sección bruta.

M_{b,Rd,y}: Momento flector resistente de
cálculo.

$$\mathbf{A} : \underline{\quad 43.00 \quad} \text{ cm}^2$$

$$\mathbf{M}_{b,Rd,y} : \underline{\quad 23.58 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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+CM1+0.5·V(0°)H2.

$$\mathbf{V}_{Ed,y} \leq \frac{\mathbf{V}_{c,Rd,y}}{2}$$

Donde:

V_{Ed,y}: Esfuerzo cortante
solicitante de cálculo pésimo.

V_{c,Rd,y}: Esfuerzo cortante
resistente de cálculo.

$$\mathbf{0.57 \text{ kN}} \leq \mathbf{96.76 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

$$\mathbf{V}_{Ed,y} : \underline{\quad 0.57 \quad} \text{ kN}$$

$$\mathbf{V}_{c,Rd,y} : \underline{\quad 193.52 \quad} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\boldsymbol{\eta} = \frac{\mathbf{M}_{T,Ed}}{\mathbf{M}_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\boldsymbol{\eta} : \underline{\quad 0.001 \quad} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H1.

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo
pésimo.

$$\mathbf{M}_{T,Ed} : \underline{\quad 0.00 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo **M_{T,Rd}** viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.93} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{16.72} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,0} : \underline{96.10} \text{ MPa}$$

$$f_{y,s} = f_y \cdot k_{y,s}$$

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd} : \underline{72.77} \text{ kN}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd} : \underline{72.79} \text{ kN}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed} : \underline{0.04} \text{ MPa}$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_T}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : \underline{16.72} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{96.10} \text{ MPa}$

$$f_{yd} = f_{y,e} / \gamma_{M,e}$$

Siendo:

$f_{y,0}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$f_{y,0} : \underline{96.10} \text{ MPa}$

$$f_{y,e} = f_y \cdot k_{y,e}$$

$\gamma_{M,0}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,0} : \underline{1.00}$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.003} \checkmark$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N125, para la combinación de acciones PP+CM1+0.5·V(0°)H1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed}: 0.56 kN

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

M_{T,Ed}: 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd}: 193.4
Rd: 6 kN

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

V_{pl,Rd}: 193.5
Rd: 2 kN

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsión.

τ_{T,Ed}: 0.04 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_T}$$

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

W_T: 16.72 cm³
f_{yd}: 96.10 MPa

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_{y,s} / \gamma_{M,s}$$

Siendo:

f_{y,0}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

f_{y,0}: 96.10 MPa

γ_{M,0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M,0}: 1.00

❖ CRUCES DE SAN ANDRES DE CUBIERTA

Barra N46/N341

Perfil: L 60 x 60 x 10										
Material: Acero (S275)										
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas							
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _{yz} ⁽⁴⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _a ⁽³⁾ (mm)	z _a ⁽³⁾ (mm)	α ⁽⁵⁾ (grados)
N46	N341	11.008	11.10	34.93	34.93	20.17	3.67	11.50	-11.50	-45.0
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad (4) Producto de inercia (5) Es el ángulo que forma el eje principal de inercia U respecto al eje Y, positivo en sentido antihorario.										
			Pandeo		Pandeo lateral					
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.				
β			0.00	0.00	0.00	0.00				
L _K			0.000	0.000	0.000	0.000				
C _m			1.000	1.000	1.000	1.000				
C ₁			-		1.000					
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico										

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ < 0.01 ✓

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A : 11.10 cm²

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : ∞

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.231 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 67.26 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 290.71 kN

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 11.10 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{Mo} : 1.05

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	λ	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
N42/N56	$\lambda \leq 4.0$ Cumpl e	$\eta = 31.3$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPL E $\eta = 31.3$
<p><i>Notación:</i> λ: Limitación de esbeltez N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_y M_z V_y$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede</p> <p><i>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</i> ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.</p>															

⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

❖ MONTANTE CRUCES DE SAN ANDRES DE CUBIERTA

Barra N46/N341

Perfil: HE 140 B Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N56	N341	5.110	43.00	1509.00	549.70	20.06
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	5.110	5.110	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ	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 V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y		
N56/N341	λ < 2.0 Cumplido	x: 0.092 m λ _w ≤ λ _{w,máx} Cumple	η = 0.6	η = 27.2	x: 2.51 m η = 2.0	M _{Ed} = 0.00 m N.P. ⁽¹⁾	x: 4.93 m η = 0.6	V _{Ed} = 0.00 m N.P. ⁽²⁾	x: 0.092 m η < 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 2.51 m η = 28.5	x: 0.092 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 m N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPL E η = 28.5
Notación: λ: Limitación de esbeltez λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ de las barras comprimidas debe ser inferior

al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

λ : 1.65 ✓

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 : 43.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 436.32 kN

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} : 1197.75 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 436.32 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

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 : 1509.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 549.70 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 20.06 cm⁴
22480.0

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 5.110 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 5.110 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 6.92 cm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 16.57 \leq 159.27 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>116.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>7.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>8.12</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>16.80</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta: \quad \underline{0.006} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1+0.75·N(EI).

$$N_{t,Ed}: \text{Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{t,Ed}: \quad \underline{7.23} \quad \text{kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{t,Rd}: \quad \underline{1126.19} \quad \text{kN}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>43.00</u> cm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>261.90</u> MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>275.00</u> MPa
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.074} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.272} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{83.02} \text{ kN}$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd} : \underline{1126.19} \text{ kN}$$

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 : 43.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{305.78} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 43.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.60

χ_z : 0.27

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

Φ_y : 1.13

Φ_z : 2.21

α : Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.34

α_z : 0.49

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.020 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.510 m del nudo N56, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 1.31 kN·m

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.00 kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 64.27 kN·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.

$W_{pl,y}$: 245.40 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta: \underline{0.006} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.930 m del nudo N56, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed}: \underline{1.16} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{vd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd}: \underline{198.39} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v: \underline{13.12} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h: \underline{140.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w: \underline{7.00} \text{ mm}$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd}: \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{vd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y: \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0}: \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \epsilon$$

$$13.14 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w: \underline{13.14}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x}: \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \epsilon$$

ϵ : Factor de reducción.

ϵ : 0.92

$$\epsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

1.08 kN ≤ 99.19 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.092 m del nudo N56, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.08 kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 198.39 kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : 0.094 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\gamma_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : 0.145 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta = \underline{0.285} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.510 m del nudo N56, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(270°)H2+0.75·N(EI).

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. : 83.02 kN

M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. : 1.31 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. : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. : 1126.1

M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. : 9 kN

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. : 43.00 cm²

W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. : 245.40 cm³

W_{pl,z}: : 119.80 cm³

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. : 261.90 MPa

$$f_{vd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) : 275.00 MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. : 1.05

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y = \underline{1.10}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z = \underline{1.38}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente. : 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	<u>0.60</u>
	:	
	χ_z	<u>0.27</u>
λ_y, λ_z : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	:	
	λ_y	<u>0.99</u>
	:	
	λ_z	<u>1.65</u>
α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	:	
	α_y	<u>0.60</u>
	:	
	α_z	<u>0.60</u>

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.092 m del nudo N56, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$1.08 \text{ kN} \leq 99.19 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$V_{Ed,z} : \underline{1.08} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{198.39} \text{ kN}$$

3.1.10 CÁLCULO DE UNIONES

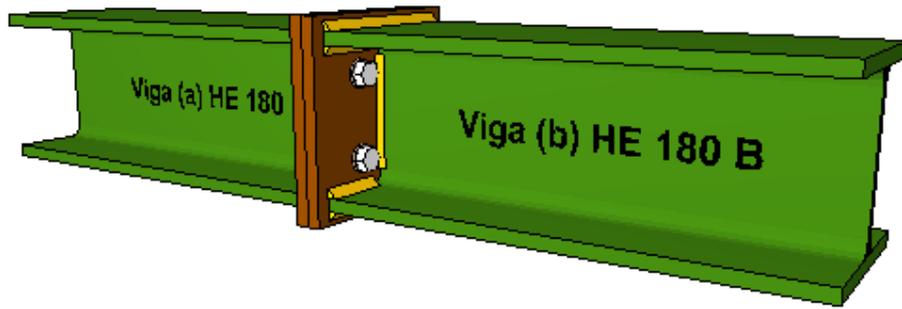
Tras el dimensionamiento y cálculo de los diversos elementos de la estructura, se realizará la definición y cálculo de las de las uniones entre éstos, analizando todas las barras que acometen en cada uno de los nudos de la estructura y seleccionando la tipología de la unión a dimensionar entre soldada o atornillada.

Las uniones entre los diferentes elementos que forman la estructura del polideportivo se resolverán mediante uniones soldadas, exceptuando las uniones en la celosía que conforma la estructura de los pórticos intermedios, ya que para facilitar el montaje de las mismas se ha optado por dividir la estructura en tres partes y en obra montarla mediante uniones atornilladas.

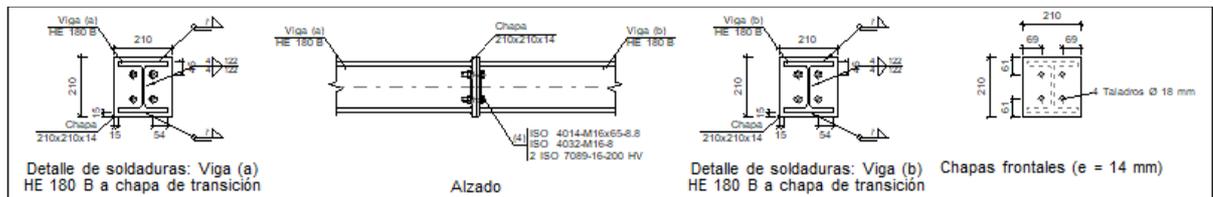
3.1.10.1 Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos, incluyendo la vista 3D, descripción de los componentes, las comprobaciones y la medición de los componentes, para una selección de los nudos más representativos.

- ❖ UNIONES ENTE LAS SECCIONES DE LA CELOSIA (UNIONES ATORNILLADAS)
 - Cordon superior



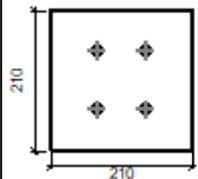
Detalle

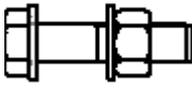


b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Viga	HE 180 B		180	180	14	8.5	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)

Chapa frontal		210	210	14	4	18	S275	275.0	410.0
---------------	---	-----	-----	----	---	----	------	-------	-------

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4014-M16x65-8.8 ISO 4032-M16-8 2 ISO 7089-16-200 HV		M16	65	8.8	640.0	800.0

c) Comprobación

1) Viga (a) HE 180 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	104.34	161.87	64.46
Ala	Aplastamiento	kN	210.00	660.00	31.82
	Tracción	kN	27.89	285.85	9.76
Alma	Tracción	kN	49.40	151.56	32.60

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta

dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

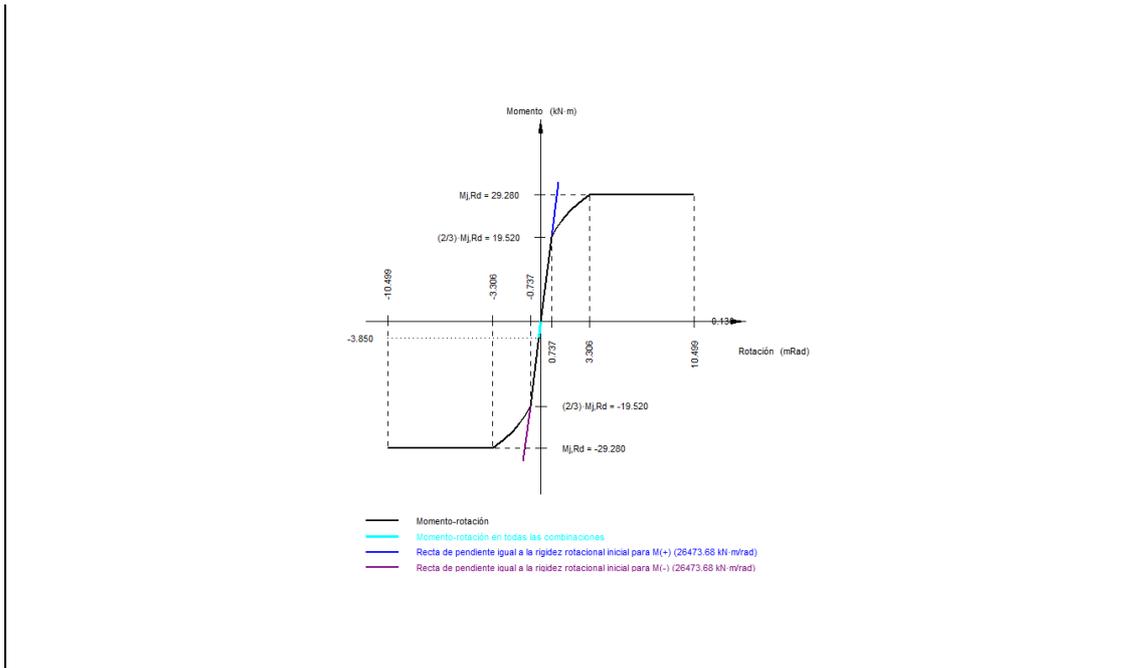
τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	180	14.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	180	14.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	80.4	80.4	2.9	160.9	41.69	80.4	24.51	410.0	0.85
Soldadura del alma	91.5	91.5	0.0	182.9	47.40	91.5	27.88	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	80.2	80.2	2.9	160.6	41.61	80.2	24.46	410.0	0.85
Rigidez rotacional inicial						Plano xy (kN·m/rad)		Plano xz (kN·m/rad)	
Calculada para momentos positivos						55058.18		26473.68	
Calculada para momentos negativos						55058.18		26473.68	

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.78 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.78}$$

Donde:

$$F_{T,Rd1} : \text{Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1} \quad F_{T,Rd1} : \underline{322.54} \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd3} : \text{Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3} \quad F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{i,Rd}$$

$$3.85 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 29.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{3.85} \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

$M_{i,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{i,Rd} : \underline{29.28} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{i,Rd} = \sum (F_{T,Rd,j} \cdot d_j)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

0.01 ≤ 0.67 ✓

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

ϕ_{Ed} : 0.15 mRad

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

ϕ_{Cd} : 10.50 mRad

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h: Distancia de la fila al centro de compresiones

h: 127 mm

β: Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

β: 1.78

Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.78	1.80	99.07
Momento resistente	kNm	3.85	29.28	13.15
Capacidad de rotación	mRad	13.821	667	2.07

2) Viga (b) HE 180 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	104.34	161.87	64.46
Ala	Compresión	kN	210.00	660.00	31.82
	Tracción	kN	27.89	285.85	9.76
Alma	Tracción	kN	49.40	151.56	32.60

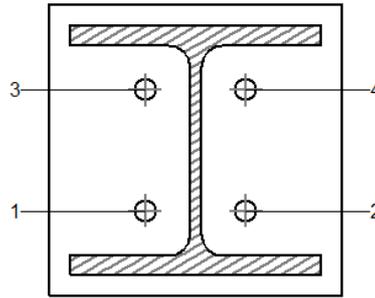
Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	180	14.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	4	122	8.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	180	14.0	90.00	

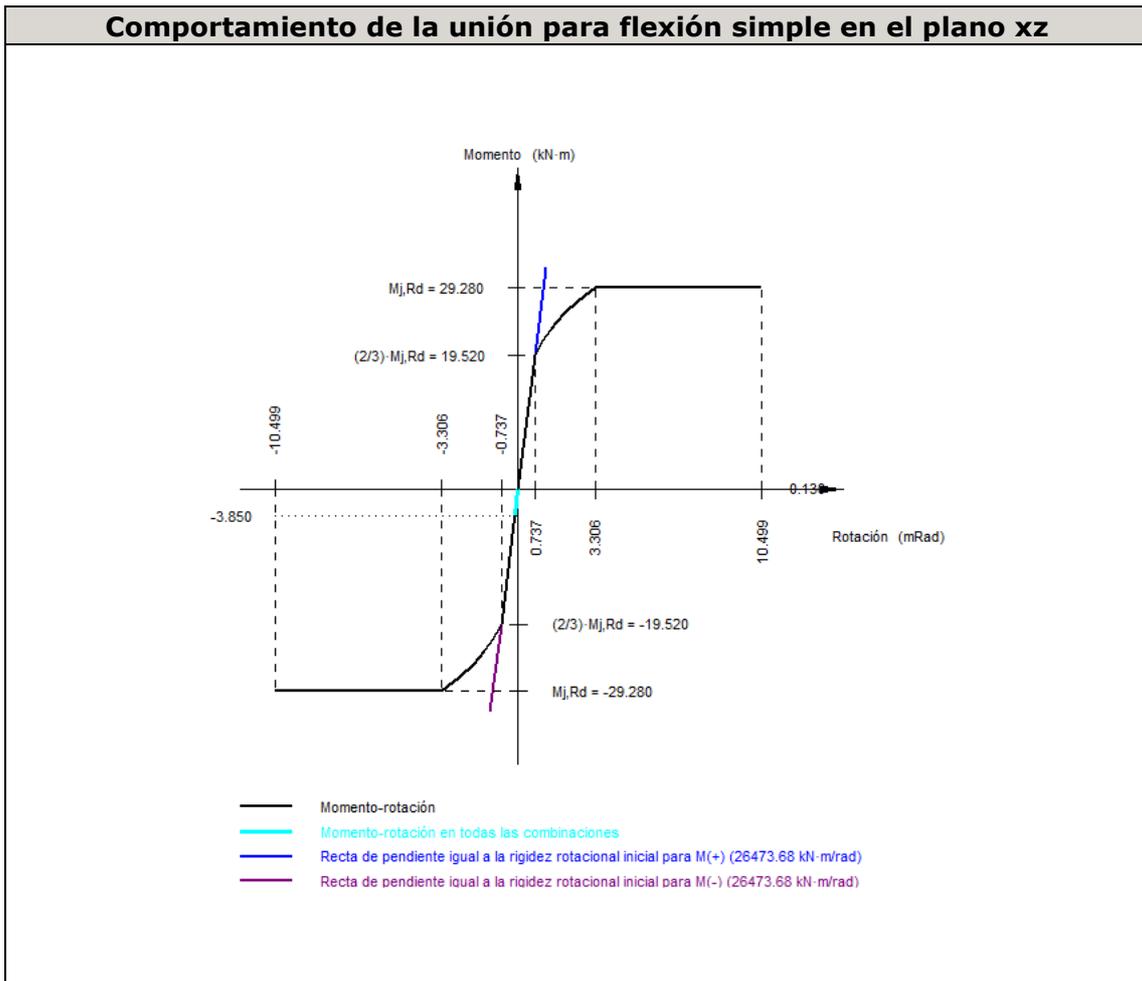
*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	80.4	80.4	2.9	160.9	41.69	80.4	24.51	410.0	0.85
Soldadura del alma	91.5	91.5	0.0	182.9	47.40	91.5	27.88	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	80.2	80.2	2.9	160.6	41.61	80.2	24.46	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición										
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)			
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	69	88	73	32.0			
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	69	88	73	32.0			
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	69	88	73	32.0			
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	69	88	73	32.0			
--: La comprobación no procede.										
Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	0.178	64.340	0.28	Vástago	52.596	90.432	58.16	41.72	58.16
	Aplastamiento	0.178	183.680	0.10	Punzonamiento	52.596	219.639	23.95		
2	Sección transversal	0.178	64.340	0.28	Vástago	38.129	90.432	42.16	30.29	42.16
	Aplastamiento	0.178	183.680	0.10	Punzonamiento	38.129	219.639	17.36		
3	Sección transversal	0.178	64.340	0.28	Vástago	58.291	90.432	64.46	46.24	64.46
	Aplastamiento	0.178	183.680	0.10	Punzonamiento	58.291	219.639	26.54		
4	Sección transversal	0.178	64.340	0.28	Vástago	42.127	90.432	46.58	33.47	46.58
	Aplastamiento	0.178	183.680	0.10	Punzonamiento	42.127	219.639	19.18		
Rigidez rotacional inicial						Plano xy (kN·m/rad)		Plano xz (kN·m/rad)		
Calculada para momentos positivos						55058.18		26473.68		
Calculada para momentos negativos						55058.18		26473.68		



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.78	1.80	99.07
Momento resistente	kNm	3.85	29.28	13.15
Capacidad de rotación	mRad	13.821	667	2.07

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	4	488
			7	1398

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Chapas	2	210x210x14	9.69
	Total			9.69

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	4	ISO 4014-M16x65
Tuercas	Clase 8	4	ISO 4032-M16
Arandelas	Dureza 200 HV	8	ISO 7089-16

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd} \quad \mathbf{104.34 \text{ kN} \leq 161.87 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

Donde:

$$F_{T,Ed}: \text{ Fuerza de tracción solicitante} \quad F_{T,Ed}: \underline{104.34} \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd}: \text{ Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente} \quad F_{T,Rd}: \underline{161.87} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} \quad F_{T,3,Rd}: \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} \quad F_{T,2,Rd}: \underline{161.87} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,1,Rd}: \underline{322.54} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en el grupo de filas: 1 y 2.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad F_{T,Rd}: \underline{161.87} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,1,Rd}: \underline{2.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,2,Rd}: \underline{1.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\sum F_{t,Rd}: \text{ Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos} \quad \sum F_{t,Rd}: \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa	t_f : <u>14.0</u> mm
m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela	m : <u>27</u> mm
n : Igual e _{min} pero n ≤ 1,25·m	n : <u>34</u> mm
Σl_{eff,1} : Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*	Σl_{eff,1} : <u>171</u> mm
Σl_{eff,2} : Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*	Σl_{eff,2} : <u>146</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : <u>275.00</u> N/mm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad \mathbf{210.00 \text{ kN} \leq 660.00 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axial. **N_{Ed}**: 210.00 kN

N_{c,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a compresión. **N_{c,Rd}**: 660.00 kN

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A: Área sometida a compresión **A**: 2520 mm²

f'_y: Tensión de límite elástico reducida. **f'_y**: 275.00 N/mm²

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y: Tensión de límite elástico. **f_y**: 275.00 N/mm²

ρ: Factor de reducción **ρ**: 0.000

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. **γ_{M0}**: 1.05

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.
 $N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{vd}$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{vd} = \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vd} = f_y / \gamma_{M0}$$

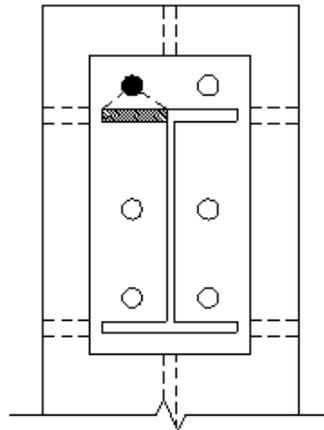
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y = \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} = \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	1091	27.89	285.85	9.76
Inferior	--	--	--	--
Σ		27.89	285.85	9.76



Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad \mathbf{49.40 \text{ kN} \leq 151.56 \text{ kN}}$$



Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} = \underline{49.40} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = \underline{151.56} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{vd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A = \underline{579.00} \text{ mm}^2$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{vd} = \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

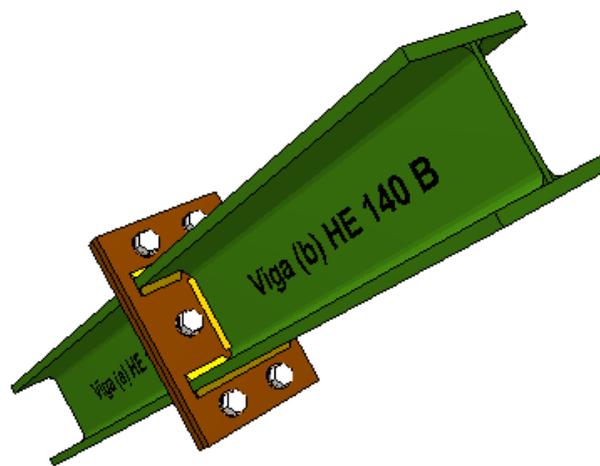
$$f_y = \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad

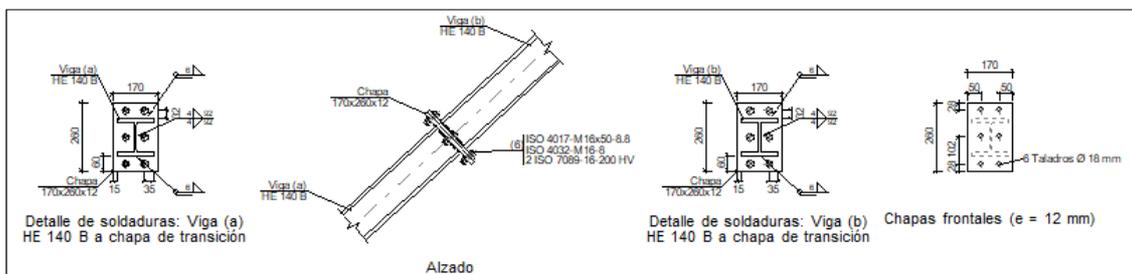
$$\gamma_{M0} = \underline{1.05}$$

relativo a la plastificación del material.

- Diagonal

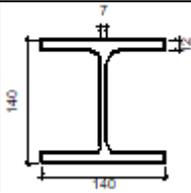


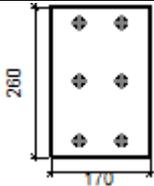
Detalle

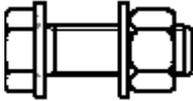


b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto	Ancho	Espesor	Espesor	Tipo	f_v	f_u

			total (mm)	del ala (mm)	del ala (mm)	del alma (mm)		(MPa)	(MPa)
Viga	HE 140 B		140	140	12	7	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Chapa frontal		170	260	12	6	18	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M16x50-8.8 ISO 4032-M16-8 2 ISO 7089-16-200 HV		M16	50	8.8	640.0	800.0

c) Comprobación

1) Viga (a) HE 140 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	49.56	125.29	39.56
Ala	Aplastamiento	kN	37.04	440.00	8.42
	Tracción	kN	24.78	220.00	11.26
Alma	Tracción	kN	48.90	178.08	27.46

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si a > 120° ⇒ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si a < 60° ⇒ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

- β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.
- f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.
- σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.
- σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.
- τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.
- τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

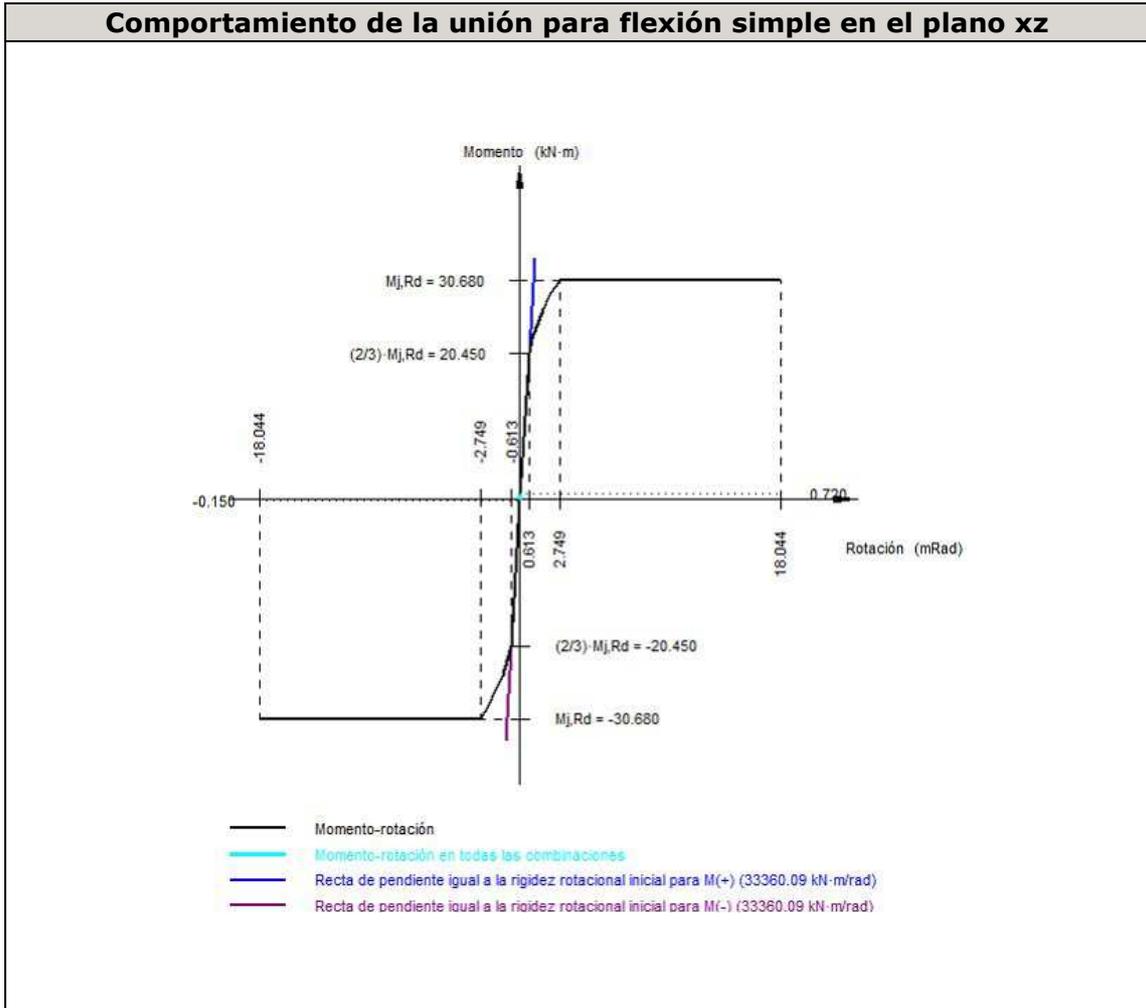
Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	140	12.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	4	92	7.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	140	12.0	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	41.7	41.7	0.1	83.4	21.62	41.7	12.72	410.0	0.85
Soldadura del alma	28.2	28.2	0.0	56.4	14.61	28.2	8.59	410.0	0.85
Soldadura del ala	40.6	40.6	0.1	81.2	21.04	40.6	12.38	410.0	0.85

inferior

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	35207.57	33360.09
Calculada para momentos negativos	35207.57	33360.09



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	0.70	1.80	39.06
Momento resistente	kNm	0.72	30.68	2.36
Capacidad de rotación	mRad	1.179	667	0.18

2) Viga (b) HE 140 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	49.56	125.29	39.56

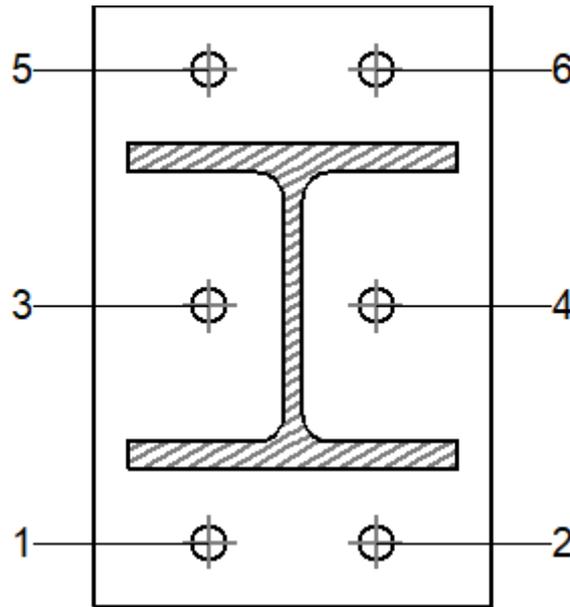
Ala	Compresión	kN	37.04	440.00	8.42
	Tracción	kN	24.78	220.00	11.26
Alma	Tracción	kN	48.90	178.08	27.46

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	140	12.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	4	92	7.0	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	140	12.0	90.00	
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>						

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	41.7	41.7	0.1	83.4	21.62	41.7	12.72	410.0	0.85
Soldadura del alma	28.2	28.2	0.0	56.4	14.61	28.2	8.59	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	40.6	40.6	0.1	81.2	21.04	40.6	12.38	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	28	50	102	71	28.0
2	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	28	50	102	71	28.0
3	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	50	102	71	32.0
4	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	50	102	71	32.0
5	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	28	50	102	71	28.0
6	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	28	50	102	71	28.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Apr. ov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Apr. ov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	0.032	50.240	0.06	Vástago	28.171	90.432	31.15	22.31	31.15
	Aplastamiento	0.032	157.441	0.02	Punzonamiento	28.171	188.262	14.96		
2	Sección transversal	0.032	50.240	0.06	Vástago	34.812	90.432	38.50	27.56	38.50
	Aplastamiento	0.032	144.321	0.02	Punzonamiento	34.812	188.262	18.49		
3	Sección transversal	0.032	50.240	0.06	Vástago	23.247	90.432	25.71	18.42	25.71
	Aplastamiento	0.032	157.441	0.02	Punzonamiento	23.247	188.262	12.35		
4	Sección	0.032	50.240	0.06	Vástago	28.6	90.432	31.15	22.68	31.66

	transversal	2	0	6		35	2	66		
	Aplastamiento	0.032	144.321	0.02	Punzonamiento	28.635	188.262	15.21		
5	Sección transversal	0.038	50.240	0.08	Vástago	29.132	90.432	32.21	23.07	32.21
	Aplastamiento	0.038	139.616	0.03	Punzonamiento	29.132	188.262	15.47		
6	Sección transversal	0.037	50.240	0.07	Vástago	35.773	90.432	39.56	28.32	39.56
	Aplastamiento	0.037	141.568	0.03	Punzonamiento	35.773	188.262	19.00		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	35207.57	33360.09
Calculada para momentos negativos	35207.57	33360.09

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

0.70 ≤ 1.80 ✓

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

β : 0.70

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 $F_{T,Rd1}$: 127.15 kN
 $F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3 $F_{T,Rd3}$: 180.86 kN

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{i,Rd}$$

0.72 kN·m ≤ 30.68 kN·m ✓

M_{Ed} : Momento solicitante

M_{Ed} : 0.72 kN·m

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$M_{i,Rd}$: 30.68 kN·m

$$M_{i,Rd} = \sum (F_{T,Rd,j} d_j)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.00 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \frac{0.02}{1} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \frac{18.04}{1} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

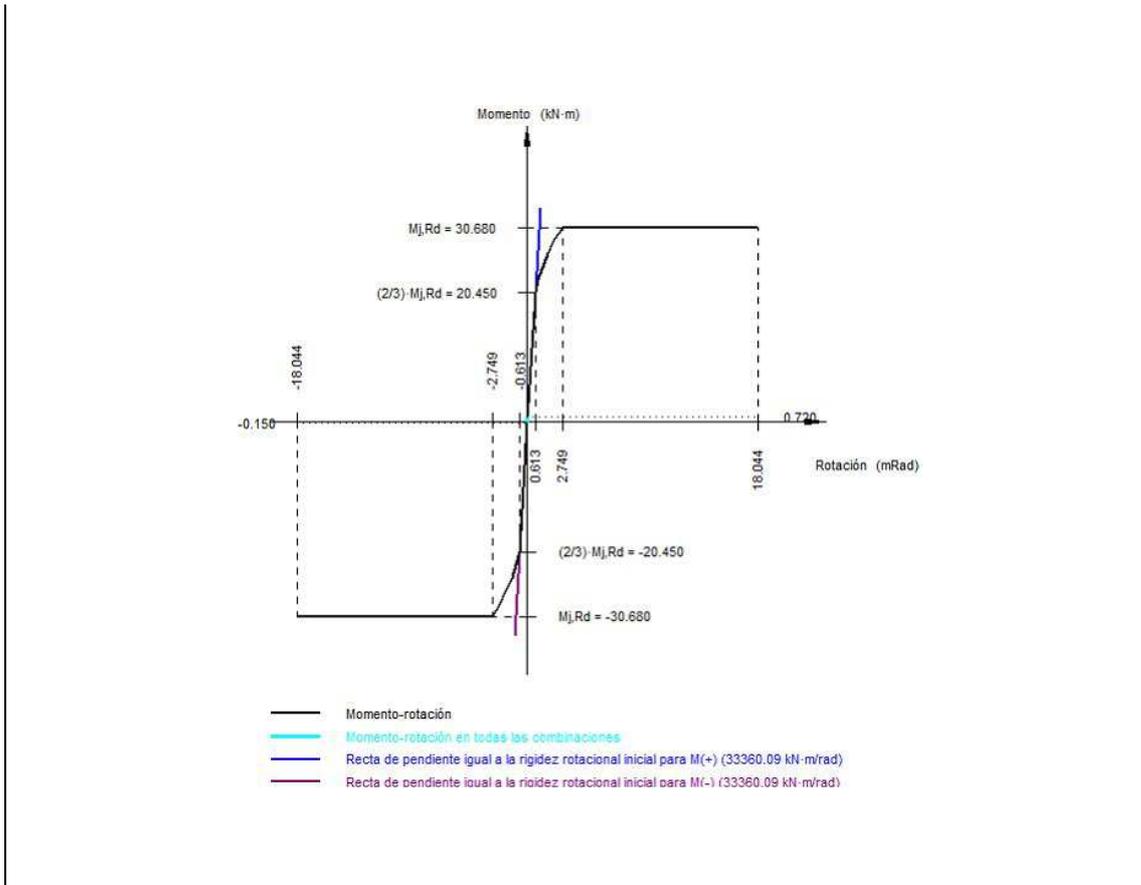
h: Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \frac{166}{1} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \frac{0.70}{1}$$

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	0.70	1.80	39.06
Momento resistente	kNm	0.72	30.68	2.36
Capacidad de rotación	mRad	1.179	667	0.18

d) Medición

Soldaduras				
f _u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	4	368
			6	1092
Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Chapas	2	170x260x12	8.33
	Total			8.33
Elementos de tornillería				
Tipo	Material	Cantidad	Descripción	
Tornillos	Clase 8.8	6	ISO 4017-M16x50	
Tuercas	Clase 8	6	ISO 4032-M16	
Arandelas	Dureza 200 HV	12	ISO 7089-16	
Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)				

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$49.56 \text{ kN} \leq 125.29 \text{ kN}$$



Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{49.56} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{125.29} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{125.29} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{127.15} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 3.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{125.29} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{0.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{0.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{12.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{25} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{28} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\sum l_{eff,1} : \underline{85} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\sum l_{eff,2} : \underline{85} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad 37.04 \text{ kN} \leq 440.00 \text{ kN}$$



Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

N_{Ed} : 37.04 kN

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$N_{c,Rd}$: 440.00 kN

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_v}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

A : 1680 mm²

f'_v : Tensión de límite elástico reducida.

f'_v : 275.00 N/mm²

$$f'_v = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

ρ : Factor de reducción

ρ : 0.000

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

f_{yd} : 261.90 N/mm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

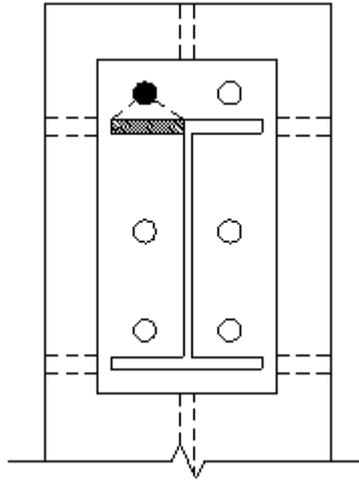
f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	840	24.78	220.00	11.26
Inferior	--	--	--	--
Σ		24.78	220.00	11.26



Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$ **48.90 kN ≤ 178.08 kN** ✓

Donde:

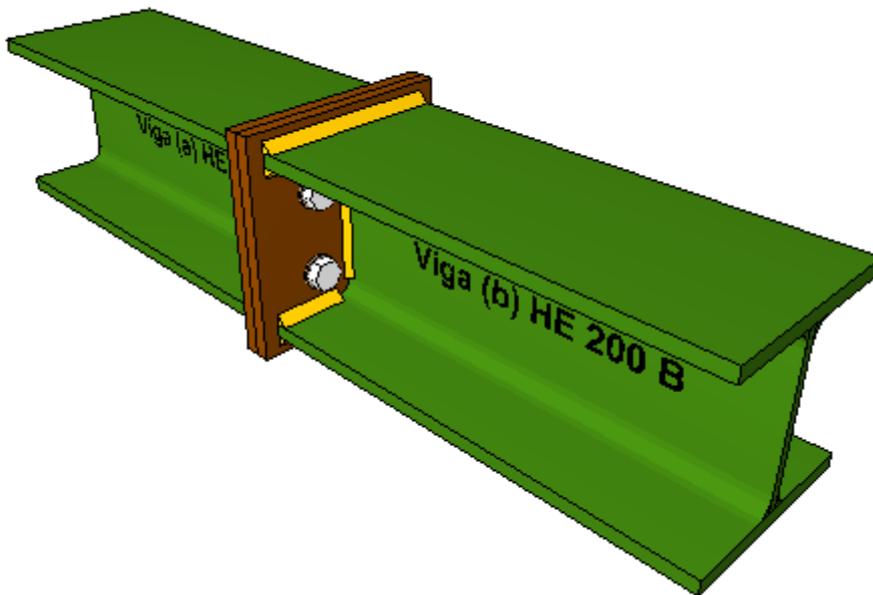
N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axial. N_{Ed}: 48.90 kN
 N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción. N_{t,Rd}: 178.08 kN

$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$

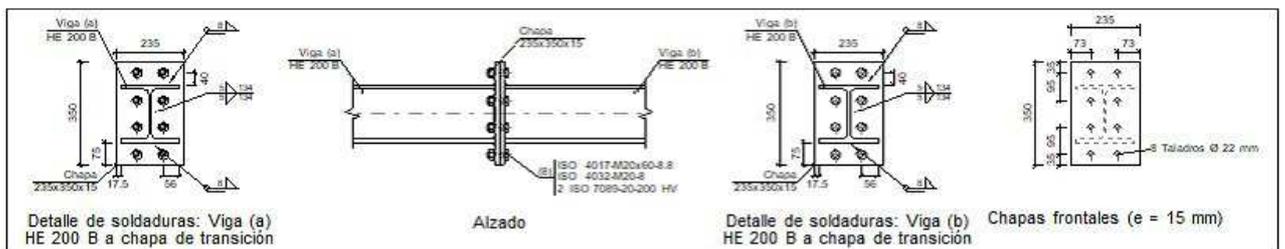
Donde:

A: Área sometida a tracción A: 680.00 mm²
 f_{yd}: Resistencia de cálculo. f_{yd}: 261.90 N/mm²
 $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$
 f_y: Tensión de límite elástico. f_y: 275.00 N/mm²
 γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. γ_{M0}: 1.05

- Cordón inferior

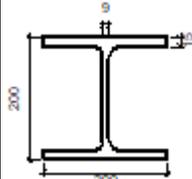


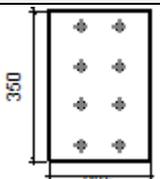
Detalle

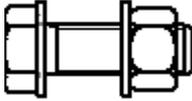


b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría				Acero			
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_V (MPa)	f_U (MPa)

Viga	HE 200 B		200	200	15	9	S275	275.0	410.0
------	----------	---	-----	-----	----	---	------	-------	-------

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Chapa frontal		235	350	15	8	22	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M20x60-8.8 ISO 4032-M20-8 2 ISO 7089-20-200 HV		M20	60	8.8	640.0	800.0

c) Comprobación

1) Viga (a) HE 200 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	120.97	200.56	60.32
Ala	Aplastamiento	kN	40.53	785.71	5.16
	Tracción	kN	92.11	389.26	23.66
Alma	Tracción	kN	57.09	180.36	31.65

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

- β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.
- f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.
- σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.
- σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.
- τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.
- τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

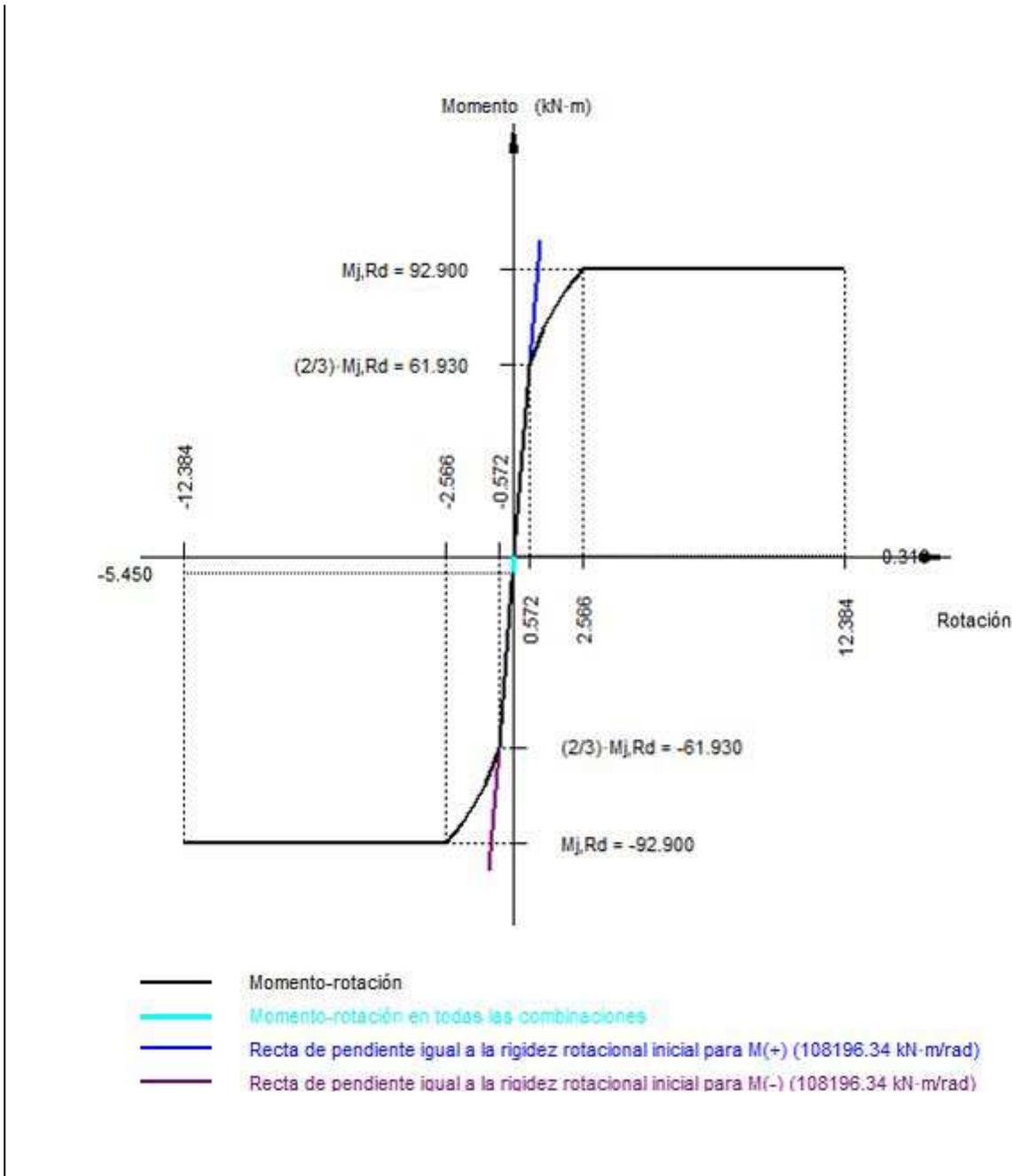
Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	200	15.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	5	134	9.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	200	15.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia								
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp}	τ_{\perp}	τ_{\parallel}	Valor	Aprov	σ_{\perp}		

	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	(N/mm ²)	(%))	
Soldadura del ala superior	53.5	53.5	0.0	106.9	27.71	53.5	16.30	410.0	0.85
Soldadura del alma	76.2	76.2	0.0	152.4	39.49	76.2	23.23	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	52.6	52.6	0.0	105.3	27.28	52.6	16.05	410.0	0.85

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	111638.65	108196.34
Calculada para momentos negativos	111638.65	108196.34

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	0.78	1.80	43.25
Momento resistente	kNm	5.45	92.90	5.86
Capacidad de rotación	mRad	4.065	667	0.61

2) Viga (b) HE 200 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	120.97	200.56	60.32
Ala	Compresión	kN	40.53	785.71	5.16
	Tracción	kN	92.11	389.26	23.66
Alma	Tracción	kN	57.09	180.36	31.65

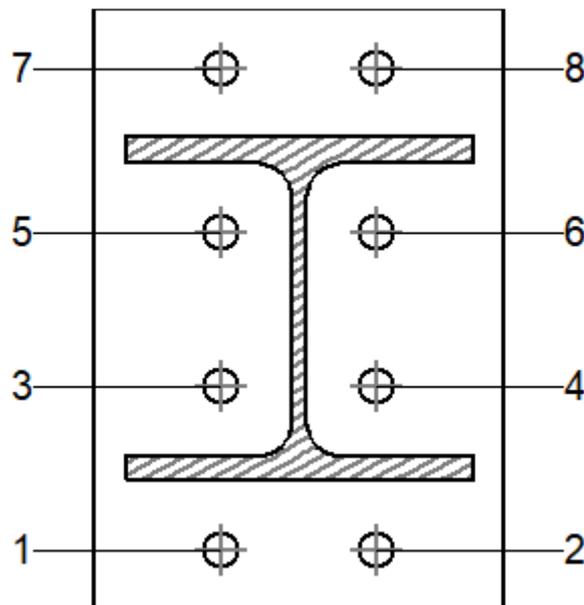
Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	200	15.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	5	134	9.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	200	15.0	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov (%)		
Soldadura del ala superior	53.5	53.5	0.0	106.9	27.71	53.5	16.30	410.0	0.85
Soldadura del alma	76.2	76.2	0.0	152.4	39.49	76.2	23.23	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	52.6	52.6	0.0	105.3	27.28	52.6	16.05	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición

Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M20x60-8.8	22.0	35	73	95	89	35.0
2	ISO 4017-M20x60-8.8	22.0	35	73	95	89	35.0
3	ISO 4017-M20x60-8.8	22.0	--	73	90	89	40.0
4	ISO 4017-M20x60-8.8	22.0	--	73	90	89	40.0
5	ISO 4017-M20x60-8.8	22.0	--	73	90	89	40.0
6	ISO 4017-M20x60-8.8	22.0	--	73	90	89	40.0
7	ISO 4017-M20x60-8.8	22.0	35	73	95	89	35.0
8	ISO 4017-M20x60-8.8	22.0	35	73	95	89	35.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Apr. ov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Apr. ov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	0.128	78.400	0.16	Vástago	60.674	141.120	42.99	30.74	42.99
	Aplastamiento	0.128	246.000	0.05	Punzonamiento	60.674	291.899	20.79		
2	Sección transversal	0.130	78.400	0.17	Vástago	83.785	141.120	59.37	42.42	59.37
	Aplastamiento	0.130	246.000	0.05	Punzonamiento	83.785	291.899	28.70		
3	Sección transversal	0.127	78.400	0.16	Vástago	58.048	141.120	41.13	29.41	41.13
	Aplastamiento	0.127	246.000	0.05	Punzonamiento	58.048	291.899	19.89		
4	Sección transversal	0.130	78.400	0.17	Vástago	80.144	141.120	56.79	40.58	56.79
	Aplastamiento	0.130	246.000	0.05	Punzonamiento	80.144	291.899	27.46		
5	Sección transversal	0.127	78.400	0.16	Vástago	50.047	141.120	35.46	25.36	35.46
	Aplastamiento	0.127	246.000	0.05	Punzonamiento	50.047	291.899	17.15		
6	Sección transversal	0.129	78.400	0.16	Vástago	66.093	141.120	46.83	33.48	46.83
	Aplastamiento	0.129	246.000	0.05	Punzonamiento	66.093	291.899	22.64		
7	Sección transversal	1.012	78.400	1.29	Vástago	61.670	141.120	43.70	31.25	43.70
	Aplastamiento	1.012	131.220	0.77	Punzonamiento	61.670	291.899	21.13		
8	Sección	0.51	78.400	0.6	Vástago	85.1	141.1	60.	43.11	60.32

	transversal	2	0	5		18	20	32		
	Aplastamiento	0.512	132.405	0.39	Punzonamiento	85.18	291.899	29.16		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	111638.65	108196.34
Calculada para momentos negativos	111638.65	108196.34

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

0.78 ≤ 1.80 ✓

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

β : 0.78

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 $F_{T,Rd1}$: 219.71 kN
 $F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3 $F_{T,Rd3}$: 282.24 kN

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

5.45 kN·m ≤ 92.90 kN·m ✓

M_{Ed} : Momento solicitante M_{Ed} : 5.45 kN·m

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por: $M_{i,Rd}$: 92.90 kN·m

$$M_{i,Rd} = \sum (F_{T,Rd,i} d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

0.00 ≤ 0.67 ✓

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante
 ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

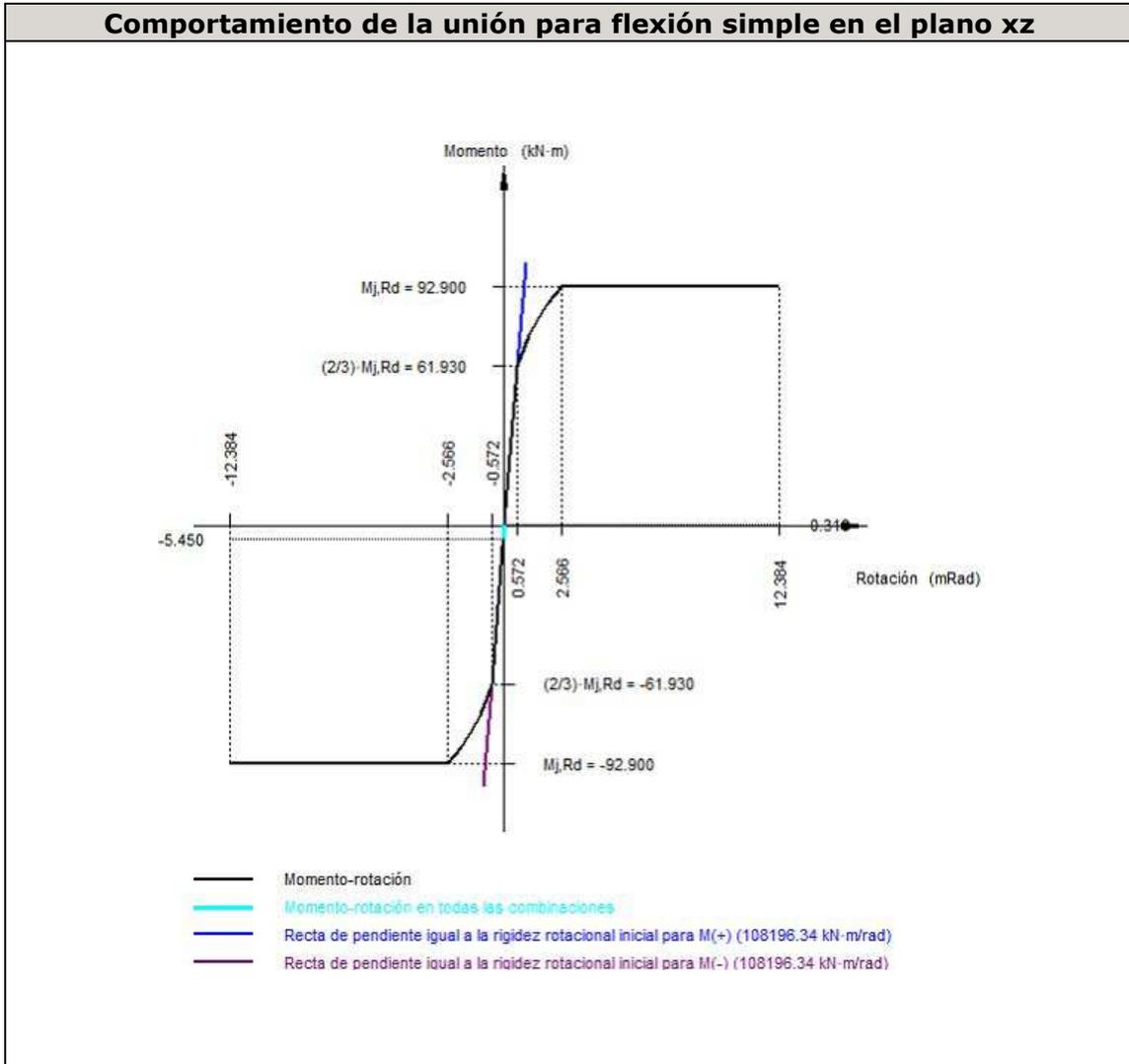
ϕ_{Ed} : 0.05 mRad
 ϕ_{Cd} : 12.38 mRad

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h: Distancia de la fila al centro de compresiones
 β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

h: 233 mm
 β : 0.78



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	0.78	1.80	43.25
Momento resistente	kNm	5.45	92.90	5.86
Capacidad de rotación	mRad	4.065	667	0.61

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	536
			8	1540

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Chapas	2	235x350x15	19.37
	Total			19.37

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	8	ISO 4017-M20x60
Tuercas	Clase 8	8	ISO 4032-M20
Arandelas	Dureza 200 HV	16	ISO 7089-20

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$120.97 \text{ kN} \leq 200.56 \text{ kN}$$



Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{120.97} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{200.56} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{282.24} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{200.56} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{219.71} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 4.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{200.56} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,1,Rd} : \underline{1.73} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,2,Rd} : \underline{1.73} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \underline{282.24} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{15.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{32} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{35} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\sum l_{eff,1} : \underline{118} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\sum l_{eff,2} : \underline{118} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad 40.53 \text{ kN} \leq 785.71 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{40.53} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{785.71} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{3000} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

ρ : Factor de reducción

$$\rho : \underline{0.000}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{vd}$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{vd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vd} = f_y / \gamma_{M0}$$

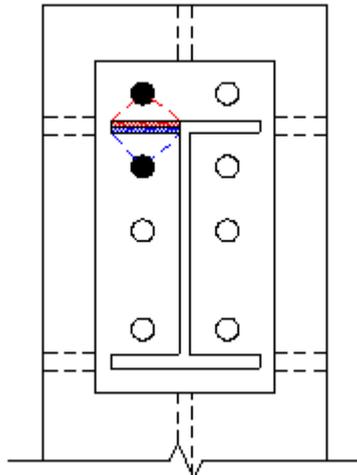
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	1486	60.49	389.26	15.54
Inferior	1486	31.62	389.26	8.12
Σ		92.11	389.26	23.66



Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad 57.09 \text{ kN} \leq 180.36 \text{ kN}$$



Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{57.09} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{180.36} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{689.00} \text{ mm}^2$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo.

f_{vd} : 261.90 N/mm²

$$f_{vd} = f_v / \gamma_{M0}$$

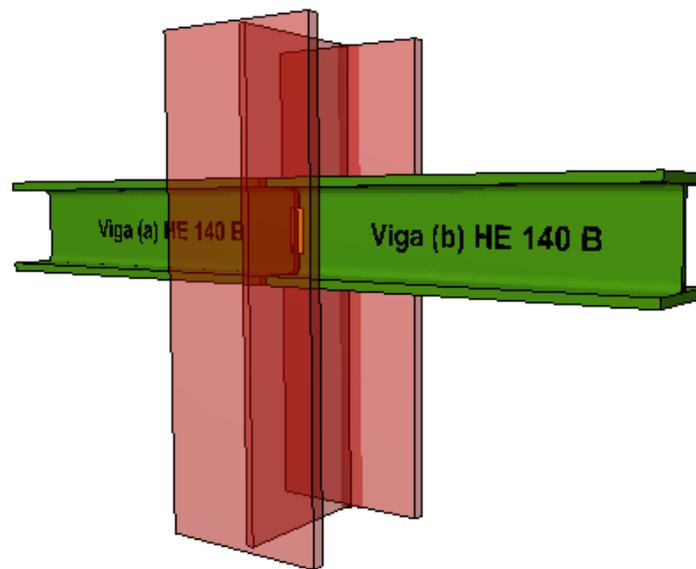
f_v : Tensión de límite elástico.

f_v : 275.00 N/mm²

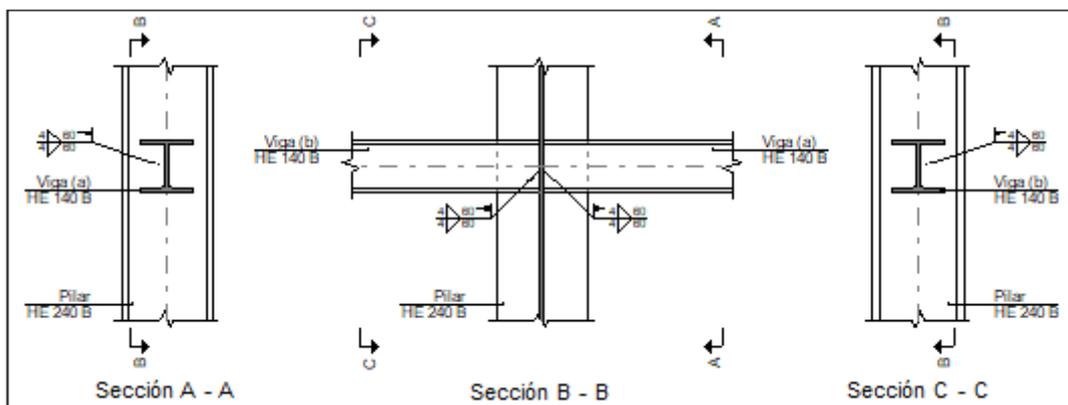
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

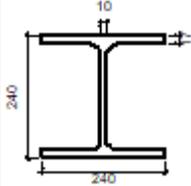
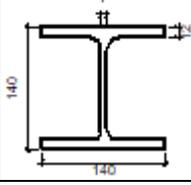
❖ UNIÓN PILAR CON VIGA DE ATADO



Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 240 B		240	240	17	10	S275	275.0	410.0
Viga	HE 140 B		140	140	12	7	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 240 B

Comprobaciones de resistencia							
	Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Viga (a)	HE 140 B	Alma	Punzonamiento	kN	121.83	263.71	46.20
			Flexión por fuerza perpendicular	kN	3.36	132.26	2.54
Viga (b)	HE 140 B	Alma	Punzonamiento	kN	121.91	263.71	46.23
			Flexión por fuerza perpendicular	kN	13.66	132.26	10.33

2) Viga (a) HE 140 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm ²	290.09	261.90	90.76

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del alma	En ángulo	4	60	7.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	179.5	179.5	1.4	359.0	93.02	179.5	54.72	410.0	0.85

3) Viga (b) HE 140 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm ²	290.27	261.90	110.83

Cordones de soldadura

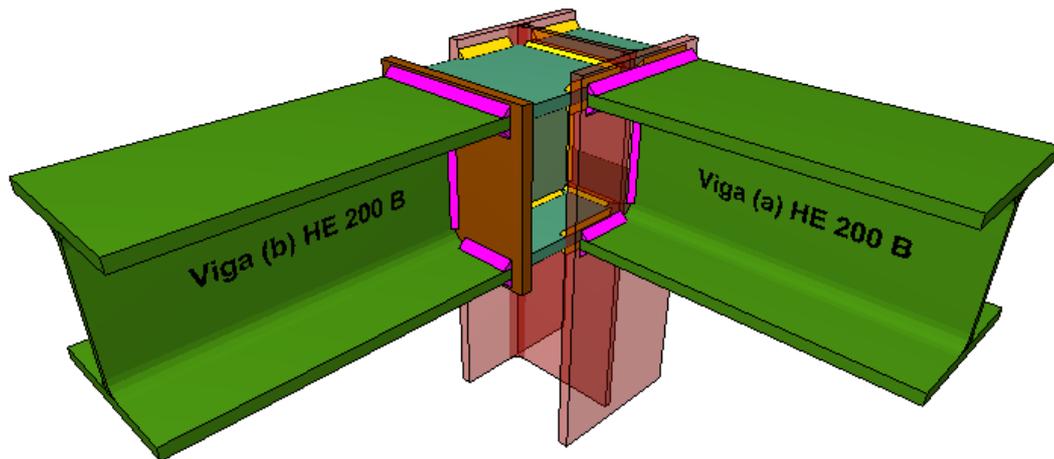
Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del alma	En ángulo	4	60	7.0	90.00	
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>						

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	179.6	179.6	1.4	359.2	93.08	179.6	54.75	410.0	0.85

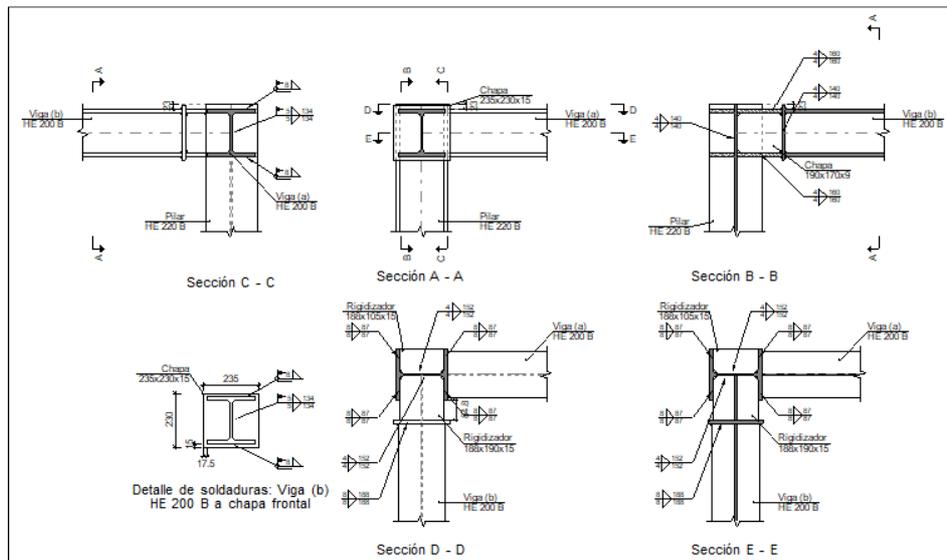
d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En el lugar de montaje	En ángulo	4	240

❖ UNIONES ENTREPLANTA

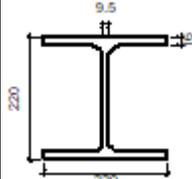
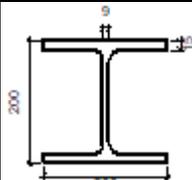


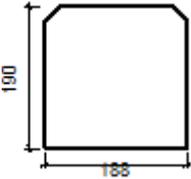
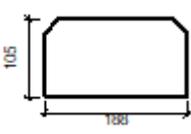
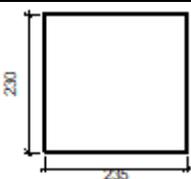
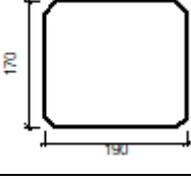
Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría				Acero			
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)

Pilar	HE 220 B		220	220	16	9.5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 200 B		200	200	15	9	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios							
Pieza	Geometría			Acero			
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	f _v (MPa)	f _u (MPa)
Rigidizador		188	190	15	S275	275.0	410.0
Rigidizador		188	105	15	S275	275.0	410.0
Chapa de apoyo de la viga Viga (b) HE 200 B		235	230	15	S275	275.0	410.0
Chapa vertical de la viga Viga (b) HE 200 B		190	170	9	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 220 B

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 70\epsilon$$

19.79 ≤ 64.71 ✓

Donde:

d_{wc}: Canto del alma
t_{wc}: Espesor del alma.

d_{wc}: 188 mm
t_{wc}: 9.5 mm

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

ε: 0.92

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$

57.00 kN ≤ 284.43 kN ✓

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$V_{wp,Ed}$: 57.00 kN

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$V_{wp,Rd}$: 284.43 kN

Donde:

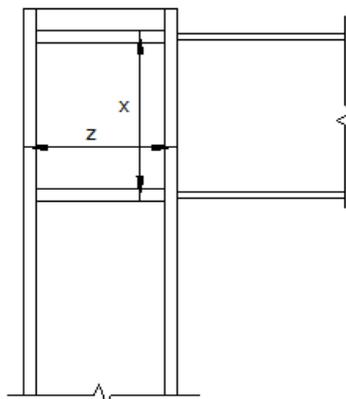
$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{vd} : Resistencia de cálculo.

f_{vd} : 261.90 N/mm²

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2090	57.00	284.43	20.04
x	1900	51.69	258.57	19.99



Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

89.56 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²

✓

Donde:

σ : Tensión normal

σ : -18.33 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

F_{\perp} : -23.99 kN

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

L_{\perp} : 87 mm

τ : Tensión tangencial

τ : -50.61 N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

$F_{||}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{||} : \underline{-66.24} \text{ kN}$$

$L_{||}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{||} : \underline{87} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{15.0} \text{ mm}$$

f_v : Tensión de límite elástico.

$$f_v : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_v}{\gamma_{M0}}$$

$$95.05 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2$$



Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{21.80} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{28.53} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{87} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{53.41} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

$F_{||}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{||} : \underline{69.90} \text{ kN}$$

$L_{||}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{||} : \underline{87} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{15.0} \text{ mm}$$

f_v : Tensión de límite elástico.

$$f_v : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_v}{\gamma_{M0}}$$

$$21.99 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2$$



Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-21.98} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-28.69} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{87} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.22} \text{ N/mm}^2$$

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$58.25 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2$$



Donde:

σ : Tensión normal	σ : <u>22.58</u> N/mm ²
τ : Tensión tangencial	τ : <u>31.00</u> N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : <u>275.00</u> N/mm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltez	--	--	--	30.58
	Cortante	kN	105.00	284.43	36.92
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	51.96	261.90	19.84
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	46.34	261.90	17.69
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	39.94	261.90	15.25
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	22.45	261.90	8.57
Chapa frontal [Viga (b) HE 200 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
	Deformación admisible	mRad	--	2	0.00
Chapa vertical [Viga (b) HE 200 B]	Cortante	kN	28.32	217.74	13.00
Ala	Desgarro	N/mm ²	68.88	261.90	26.30
	Cortante	N/mm ²	53.45	261.90	20.41

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	87	15.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	152	9.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	8	235	15.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	87	15.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	152	9.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	8	235	15.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	87	15.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	152	9.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	87	15.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	152	9.5	90.00
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	4	140	9.0	90.00
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	4	140	9.0	90.00
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	4	160	9.0	90.00
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	4	160	9.0	90.00

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	16.9	16.9	24.5	54.3	14.07	17.3	5.27	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	28.9	50.0	12.95	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	3.9	3.9	0.2	7.8	2.02	3.9	1.19	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a	23.4	23.4	7.2	48.4	12.55	23.7	7.23	410.0	0.85

las alas									
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	37.3	64.7	16.76	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	4.0	4.0	0.4	8.1	2.10	4.0	1.23	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	26.4	26.4	1.4	52.9	13.71	26.4	8.05	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	42.6	73.8	19.13	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	14.7	14.7	1.8	29.6	7.68	14.7	4.49	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	24.0	41.6	10.79	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	21.0	36.3	9.41	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	21.0	36.3	9.41	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	22.1	38.3	9.93	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	22.1	38.3	9.93	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga (a) HE 200 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	200	15.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	5	134	9.0	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	200	15.0	90.00	

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	34.7	34.7	0.2	69.4	17.98	34.7	10.58	410.0	0.85

Soldadura del alma	17.5	17.5	0.2	35.1	9.09	17.5	5.34	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	32.2	32.2	0.0	64.4	16.68	32.2	9.81	410.0	0.85

3) Viga (b) HE 200 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	200	15.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	5	134	9.0	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	200	15.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	17.1	17.1	0.3	34.1	8.84	17.1	5.20	410.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	17.5	30.4	7.87	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	17.2	17.2	0.4	34.4	8.90	17.2	5.23	410.0	0.85

d) Medición

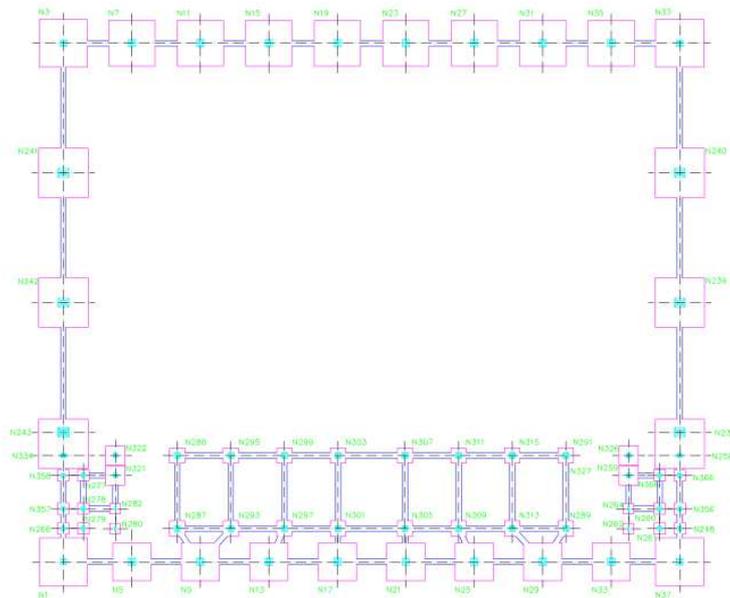
Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	4	2416
			8	2334
	En el lugar de montaje	En ángulo	5	536
			8	1480

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	2	188x190x15	8.41
		2	188x105x15	4.65
	Chapas	1	190x170x9	2.28
		1	235x230x15	6.36
	Total			

3.1.11 CIMENTACIÓN

La cimentación es la parte de la estructura, encargada de transmitir al terreno las tensiones a que está sometida el resto de la estructura y anclarla. La elección del tipo de cimentación depende especialmente de la naturaleza y características mecánicas del terreno y de la magnitud de las cargas existentes. En el caso a estudio, el tipo de cimentación proyectado es superficial, dada la resistencia del suelo y la facilidad para encontrar un estrato propicio a una profundidad relativamente próxima a la cota de terreno (4m), cuya tensión admisible tendrá un valor de 2 kg/cm^2 en situaciones persistentes, y de 3 kg/cm^2 en situaciones accidentales. Se emplearán, por tanto, zapatas aisladas para la cimentación de los pilares que soportan los perfiles metálicos de la nave. Toda la cimentación se resolverá con hormigón HA-25, armado con acero corrugado B500S.

Las zapatas se han dispuesto de una forma simétrica, y se han tratado de igualar en diversos casos.



De este modo, tendremos nueve tipos de zapatas:

CUADRO DE ZAPATAS		
N3, N39, N37 Y N1	ZAPATA CUADRADA ANCHO: 360.0 cm CANTO: 80.0 cm	Sup X: 13016c/27 Sup Y: 13016c/27 Inf X: 13016c/27 Inf Y: 13016c/27
N7, N11, N15, N19, N23, N27, N31 Y N35	ZAPATA CUADRADA ANCHO: 345.0 cm CANTO: 75.0 cm	Sup X: 12016c/29 Sup Y: 12016c/29 Inf X: 12016c/29 Inf Y: 12016c/29
N240, N239, N242 Y N241	ZAPATA CUADRADA ANCHO: 370.0 cm CANTO: 100.0 cm	Sup X: 29012c/12.5 Sup Y: 29012c/12.5 Inf X: 29012c/12.5 Inf Y: 29012c/12.5
N260, N261, N248, N277, N266, N279, N278 N356, N357, N358, N259 Y N366	ZAPATA CUADRADA ANCHO: 85.0 cm CANTO: 40.0 cm	X: 3012c/30 Y: 3012c/30
N33, N29, N25, N21, N17, N13, N9 Y N5	ZAPATA CUADRADA ANCHO: 285.0 cm CANTO: 60.0 cm	Sup X: 14012c/20 Sup Y: 14012c/20 Inf X: 14012c/20 Inf Y: 14012c/20
N262, N264, N280 Y N282	ZAPATA CUADRADA ANCHO: 80.0 cm CANTO: 40.0 cm	X: 3012c/30 Y: 3012c/30
N327, N326, N322 Y N321	ZAPATA CUADRADA ANCHO: 145.0 cm CANTO: 40.0 cm	Sup X: 5012c/30 Sup Y: 5012c/30 Inf X: 5012c/30 Inf Y: 5012c/30
N291, N289, N313, N315, N311, N309, N305, N307, N303 N301, N297, N299, N293, N287, N288 Y N295	ZAPATA CUADRADA ANCHO: 115.0 cm CANTO: 45.0 cm	Sup X: 4012c/27 Sup Y: 4012c/27 Inf X: 4012c/27 Inf Y: 4012c/27
(N243 – N334) Y (N238 – N258)	ZAPATA CUADRADA ANCHO: 370.0 cm CANTO: 100.0 cm	Sup X: 30012c/10 Sup Y: 30012c/10 Inf X: 30012c/10 Inf Y: 30012c/10

El cálculo se ha llevado a cabo mediante la utilización del módulo CYPECAD de cálculo de estructuras, de acuerdo a la normativa vigente y otros criterios incluidos en publicaciones especializadas como lo es el libro “Cálculo de estructuras de cimentación”, de J. Calavera. El cálculo desarrollado por dicho módulo, tiene en cuenta las acciones debidas a las cargas transmitidas por los elementos portantes verticales, la presión de contacto con el terreno y el peso propio de las mismas. Y realiza, bajo estas acciones y en cada combinación de cálculo las siguientes comprobaciones sobre cada una de las direcciones principales de las zapatas: flexión, cortante, vuelco, deslizamiento, cuantías mínimas, longitudes de anclaje, diámetros mínimos y separaciones mínimas y máximas de armaduras; comprobando, además, las dimensiones geométricas mínimas, seguridad frente al deslizamiento, tensiones medias y máximas, compresión oblicua y el espacio necesario para anclar los arranques o pernos de anclajes.

3.1.11.1 Zapatas

❖ GRUPO 1

Referencia: N3 Dimensiones: 360 x 360 x 80 Armados: Xi:Ø16c/27 Yi:Ø16c/27 Xs:Ø16c/27 Ys:Ø16c/27		
Comprobación	Valores	Estado
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 80 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: -N3:	Mínimo: 44 cm Calculado: 72 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado superior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> -Parrilla inferior: -Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 16 mm Calculado: 16 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo: -Armado sup. dirección X hacia der: -Armado sup. dirección X hacia izq: -Armado sup. dirección Y hacia arriba: -Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 91 cm Mínimo: 16 cm Mínimo: 16 cm Mínimo: 16 cm Mínimo: 16 cm Mínimo: 19 cm Mínimo: 19 cm Mínimo: 19 cm Mínimo: 19 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

❖ GRUPO 2

Referencia: N7 Dimensiones: 345 x 345 x 75 Armados: Xi:Ø16c/29 Yi:Ø16c/29 Xs:Ø16c/29 Ys:Ø16c/29		
Comprobación	Valores	Estado
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 75 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: -N7:	Mínimo: 60 cm Calculado: 67 cm	Cumple
Cuántía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado superior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> -Parrilla inferior: -Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 16 mm Calculado: 16 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 29 cm Calculado: 29 cm Calculado: 29 cm Calculado: 29 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 29 cm Calculado: 29 cm Calculado: 29 cm Calculado: 29 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo: -Armado sup. dirección X hacia der: -Armado sup. dirección X hacia izq: -Armado sup. dirección Y hacia arriba: -Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 87 cm Mínimo: 16 cm Mínimo: 16 cm Mínimo: 16 cm Mínimo: 16 cm Mínimo: 19 cm Mínimo: 19 cm Mínimo: 19 cm Mínimo: 19 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

❖ GRUPO 3

Referencia: N240		
Dimensiones: 370 x 370 x 95		
Armados: Xi:Ø12c/13 Yi:Ø12c/13 Xs:Ø12c/13 Ys:Ø12c/13		
Comprobación	Valores	Estado
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 95 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: -N240:	Mínimo: 85 cm Calculado: 88 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado superior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> -Parrilla inferior: -Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo: -Armado sup. dirección X hacia der: -Armado sup. dirección X hacia izq: -Armado sup. dirección Y hacia arriba: -Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 80 cm Calculado: 80 cm Calculado: 76 cm Calculado: 76 cm Calculado: 80 cm Calculado: 80 cm Calculado: 76 cm Calculado: 76 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

❖ GRUPO 4

Referencia: N261		
Dimensiones: 85 x 85 x 40		
Armados: Xi:Ø12c/30 Yi:Ø12c/30		
Comprobación	Valores	Estado
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 40 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: -N261:	Mínimo: 32 cm Calculado: 33 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009	Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: -Parrilla inferior: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud mínima de las patillas: -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 12 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

❖ GRUPO 5

Referencia: N33 Dimensiones: 285 x 285 x 60 Armados: Xi:Ø12c/20 Yi:Ø12c/20 Xs:Ø12c/20 Ys:Ø12c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 60 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: -N33:	Mínimo: 50 cm Calculado: 53 cm	Cumple
Cuántía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado superior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> -Parrilla inferior: -Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo: -Armado sup. dirección X hacia der: -Armado sup. dirección X hacia izq: -Armado sup. dirección Y hacia arriba: -Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 72 cm Calculado: 72 cm Calculado: 73 cm Calculado: 73 cm Calculado: 72 cm Calculado: 72 cm Calculado: 73 cm Calculado: 73 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

❖ GRUPO 6

Referencia: N262		
Dimensiones: 80 x 80 x 40		
Armados: Xi:Ø12c/30 Yi:Ø12c/30		
Comprobación	Valores	Estado
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 40 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: -N262:	Mínimo: 30 cm Calculado: 33 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009	Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: -Parrilla inferior: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud mínima de las patillas: -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 12 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

❖ GRUPO 7

Referencia: N327 Dimensiones: 145 x 145 x 40 Armados: Xi:Ø12c/30 Yi:Ø12c/30 Xs:Ø12c/30 Ys:Ø12c/30		
Comprobación	Valores	Estado
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 40 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: -N327:	Mínimo: 35 cm Calculado: 33 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado superior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> -Parrilla inferior: -Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 30 cm Calculado: 30 cm Calculado: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 30 cm Calculado: 30 cm Calculado: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo: -Armado sup. dirección X hacia der: -Armado sup. dirección X hacia izq: -Armado sup. dirección Y hacia arriba: -Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm Calculado: 23 cm Calculado: 23 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm Calculado: 23 cm Calculado: 23 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

❖ GRUPO 8

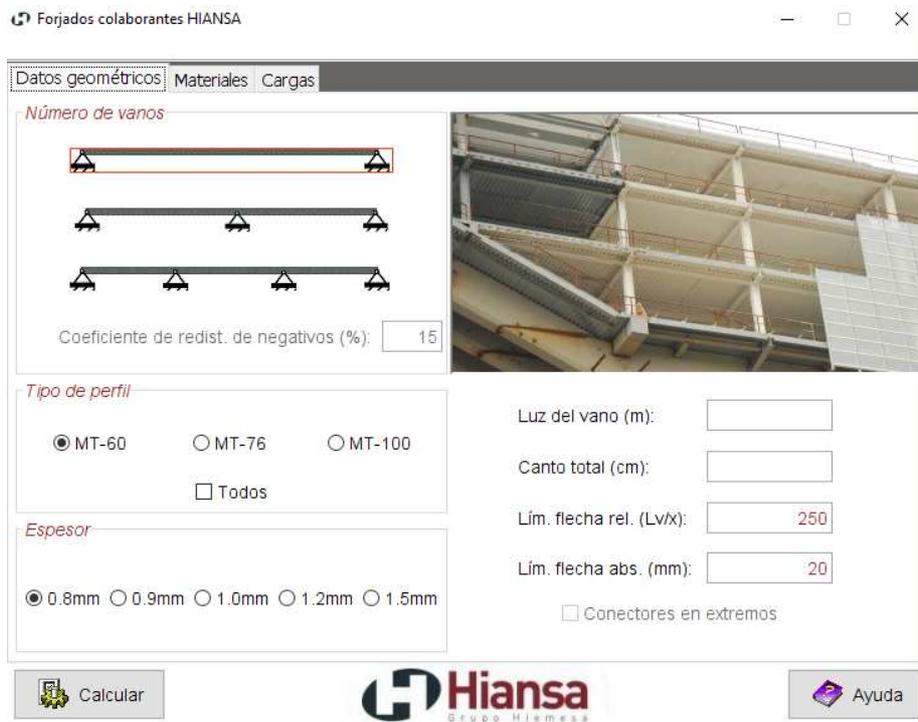
Referencia: N289		
Dimensiones: 115 x 115 x 45		
Armados: Xi:Ø12c/27 Yi:Ø12c/27 Xs:Ø12c/27 Ys:Ø12c/27		
Comprobación	Valores	Estado
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 45 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: -N289:	Mínimo: 0 cm Calculado: 38 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado superior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> -Parrilla inferior: -Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm Calculado: 27 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo: -Armado sup. dirección X hacia der: -Armado sup. dirección X hacia izq: -Armado sup. dirección Y hacia arriba: -Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 20 cm Calculado: 23 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud mínima de las patillas: -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo: -Armado sup. dirección X hacia der: -Armado sup. dirección X hacia izq: -Armado sup. dirección Y hacia arriba: -Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 12 cm Calculado: 15 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

❖ GRUPO 9

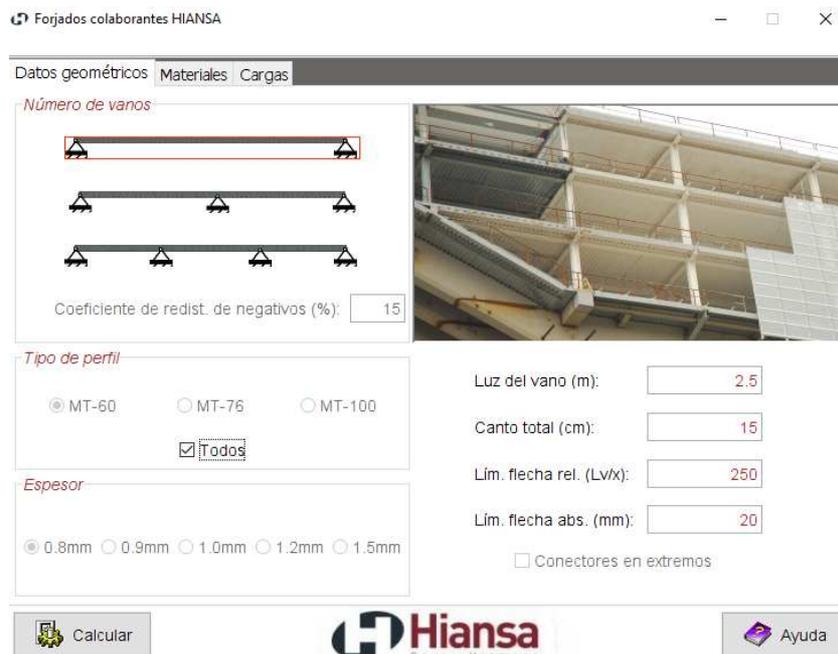
Referencia: N243 Dimensiones: 370 x 370 x 95 Armados: Xi:Ø12c/13 Yi:Ø12c/13 Xs:Ø12c/13 Ys:Ø12c/13		
Comprobación	Valores	Estado
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 95 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: -N243:	Mínimo: 85 cm Calculado: 88 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado superior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> -Parrilla inferior: -Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> -Armado inferior dirección X: -Armado inferior dirección Y: -Armado superior dirección X: -Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm Calculado: 13 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> -Armado inf. dirección X hacia der: -Armado inf. dirección X hacia izq: -Armado inf. dirección Y hacia arriba: -Armado inf. dirección Y hacia abajo: -Armado sup. dirección X hacia der: -Armado sup. dirección X hacia izq: -Armado sup. dirección Y hacia arriba: -Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 80 cm Calculado: 80 cm Calculado: 76 cm Calculado: 76 cm Calculado: 80 cm Calculado: 80 cm Calculado: 76 cm Calculado: 76 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

3.1.11.2 Forjado

Para el cálculo del forjado la empresa HIANSA, facilita un programa de cálculo que nos permite conocer cuál sería el forjado adecuado para nuestra estructura.



El forjado se apoyara en dos vanos, y se realizara el cálculo para todos los tipos de perfil y para todos los tipos de espesor, siendo la luz del vano de 2,5m como se puede ver en los planos y el canto total de 15 cm.



Tras el cálculo se obtienen los siguientes resultados:

ESPESOR	MT-60	MT-76	MT-100
0.8	6.79 (0.12)	13.59 (0.12)	11.36 (0.08)
0.9	10.27 (0.12)	15.22 (0.12)	12.53 (0.08)
1.0	11.03 (0.12)	19.58 (0.12)	13.75 (0.08)
1.2	12.86 (0.12)	22.9 (0.12)	16.19 (0.08)
1.5	15.77 (0.12)	27.87 (0.12)	17.74 (0.08)

Por lo que finalmente se ha seleccionado el tipo de forjado de MT-100 con espesor de $12'53 \text{ kN}/\text{m}^2$, que supera la sobrecarga de $5 \text{ kN}/\text{m}^2$ establecida para graderíos.

TABLA 3.1. SOBRECARGAS DE USO	
Uso del elemento	Sobrecarga kg/m^2
A. Azoteas	
Accesibles sólo para conservación	100
Accesibles sólo privadamente	150
Accesibles al público	Según su uso
B. Viviendas	
Habitaciones en viviendas	200
Escaleras y accesos públicos	300
Balcones volados	Según art. 3.5
C. Hoteles, hospitales, cárceles, etc.	
Zonas de dormitorio	200
Zonas públicas, escaleras, accesos	300
Locales de reunión y de espectáculo	500
Balcones volados	Según art. 3.5
D. Oficinas y comercios	
Locales privados	200
Oficinas públicas, tiendas	300
Galerías comerciales, escaleras y accesos	400
Locales de almacén	Según su uso
Balcones volados	Según art. 3.5
E. Edificios docentes	
Aulas, despachos y comedores	300
Escaleras y accesos	400

Tomando el valor más alto de la tabla, pudiendo considerar el recinto como local de reunión y de espectáculo.

A continuación se muestra el informe correspondiente al forjado:

PARÁMETROS DE ENTRADA (INTRODUCIDOS)		
DATOS GEOMÉTRICOS		
Número de vanos		1
Luz del vano	m	2.5
Tipo de perfil		MT-100
Espesor	mm	1.0
Canto total	cm	15
Límite de flecha relativo		250
Límite de flecha absoluto	mm	20
Conectores en extremos		NO
MATERIALES		
HORMIGÓN		
Tipo de hormigón		NORMAL
Resistencia característica del hormigón	MPa	30
Coefficiente de minoración de resistencia γ_c		1.5
Densidad o peso específico	kN/m ³	24.0
ACERO ESTRUCTURAL		
Límite elástico	MPa	275
Coefficiente de minoración de resistencia γ_a		1.1
CARGAS		
Carga lineal		NO
Carga puntual		NO
Coefficiente de mayoración de acciones perman. γ_p		1.35
Coefficiente de mayoración de acciones variables γ_q		1.5
Carga sísmica		NO
Carga dinámica		NO
Resistencia al fuego		NO
PARÁMETROS DE SALIDA (CALCULADOS)		
FASE DE EJECUCIÓN (art. 7.3.2.1, 7.4.1 y 7.5 de EC4 y parte 1-3 de EC3)		
Coefficiente de seguridad de cargas permanentes, γ_{pe}		1.35
Coefficiente de seguridad de cargas variables, γ_{qe}		1.35
Momento máximo positivo, $M_{m\text{expos.d}}$	mkN/m	3.88
Momento resistente elástico eficaz positivo, M_{Rep}	mkN/m	10.12
Comprobación a flexión: $M_{m\text{expos.d}} \leq M_{Rep}$		CORRECTO
Cortante máximo en apoyos, $V_{e,d}$	kN/m	6.20
Cortante resistente, V_{ue}	kN/m	107.28
Comprobación a cortante: $V_{e,d} \leq V_{ue}$		CORRECTO
Flecha para análisis de embalsamiento (peso propio+sobrec. ejecución), f_{eb}	mm	3.91
Embalsamiento: ($f_{eb} > L/250$ o 20mm)		NO
Flecha del forjado (peso propio acero + hormigón), f_{ec}	mm	2.32
Necesidad de apuntalamiento		NO

FASE MIXTA (artículos 7.3.2.2, 7.4.2 y 7.6 de EC4)		
Resultante de compresiones en el hormigón, N_{cf}	kN/m	433.00
Fibra neutra de la sección mixta, x	cm	2.55
Sobrecarga superficial máxima de servicio	kN/m ²	13.75
Momento último resistente, $M_{p,Rd}$	mkN/m	34.84
Momento máximo positivo, $M_{max,d}^+$	mkN/m	18.42
Comprobación a flexión: ($M_{max,d}^+ \leq M_{p,Rd}$)		CORRECTO
Carga última a flexión, Q_{UF}	kN/m ²	44.59
Cortante último vertical, $V_{v,Rd}$	kN/m	34.51
Cortante vertical máximo, $V_{v,max,d}$	kN/m	29.47
Comprobación a cortante vertical: ($V_{v,max,d} \leq V_{v,Rd}$)		CORRECTO
Carga última a cortante vertical, Q_{UV}	kN/m ²	27.61
Luz de cortante, L_s	m	0.63
Cortante último a rasante, V_{LRd}	kN/m	25.80
Cortante máximo para rasante, $V_{Lmax,d}$	kN/m	25.80
Comprobación a rasante: ($V_{Lmax,d} \leq V_{LRd}$)		CORRECTO
Carga última a rasante, Q_{uR}	kN/m ²	20.64
Coefficiente de equivalencia a tiempo infinito ($n = E_s/(E_{cm}/2)$)		13.13
Inercia de la sección homogeneizada, I_T	m ⁴ /m	1.561e-05
Inercia homogeneizada de la sección fisurada, I_{Tf}	m ⁴ /m	8.776e-06
Inercia a considerar para el cálculo de la flecha, I_f	m ⁴ /m	1.219e-05
Flecha, f	mm	2.73
Comprobación de flecha ($f \leq L_s/250$ o 20mm)		CORRECTO
Carga última mínima	kN/m ²	20.64
Volumen de hormigón por unidad de superficie, V_H	m ³ /m ²	0.08
Peso del forjado, Q_{muerta}	kN/m ²	2.17
Mallazo antifisuración		#Ø4@20cm

3.2 EVACUACIÓN DE AGUAS

3.2.1 INSTALACIÓN DE EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES

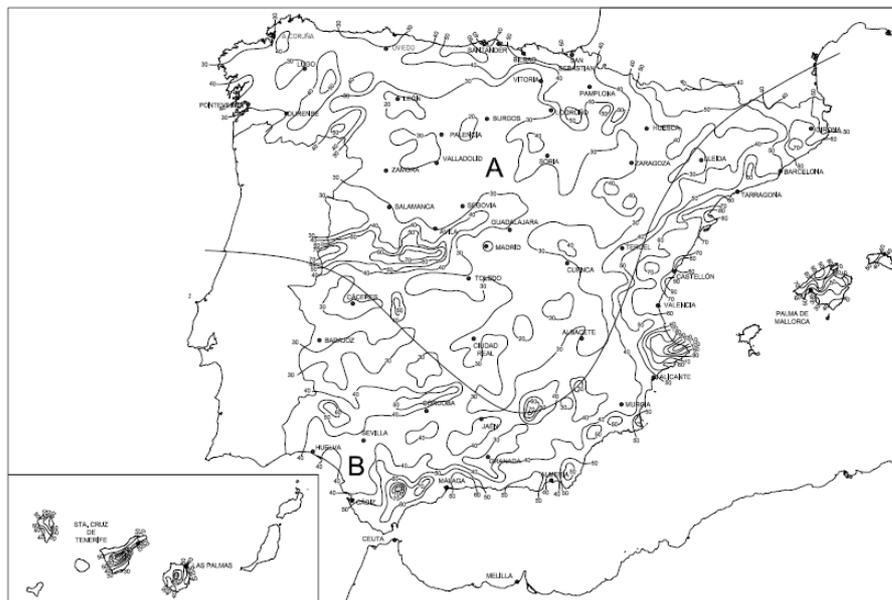
La instalación de evacuación de aguas pluviales estará formada por un conjunto de canalones para la recogida de las aguas de procedentes de la cubierta, que a través de los sumideros, las bajantes y los colectores serán canalizadas hasta las arquetas registrables, para su posterior salida a la red de saneamiento general.

❖ Bases de calculo

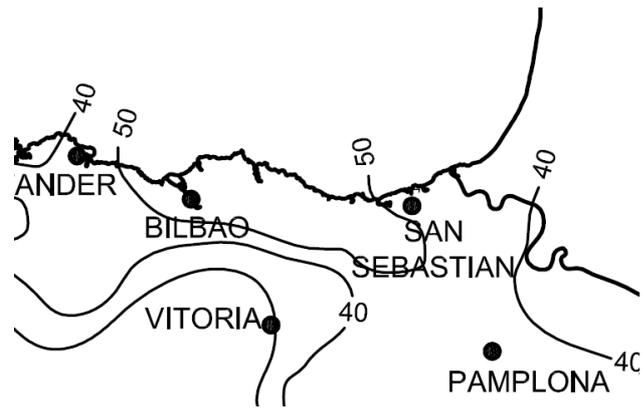
El dimensionamiento los diversos elementos de la red dependerá del agua a evacuar, que se establecerá en función de la superficie de cubierta en proyección horizontal (S) y la intensidad pluviométrica correspondiente a la zona en la que se encuentre el edificio.

3.2.1.1 Intensidad pluviométrica

La intensidad pluviométrica i se obtendrá en función de la isoyeta y la zona pluviométrica correspondientes a la localidad en la que se ubica el pabellón, que se establecen de acuerdo al mapa que se muestra a continuación:



El pabellón a proyectar estará ubicado en el municipio de Baracaldo, en la provincia de Bizkaia, por lo tanto, como se muestra en la siguiente imagen de detalle, su zona pluviométrica será A y su isoyeta 50.

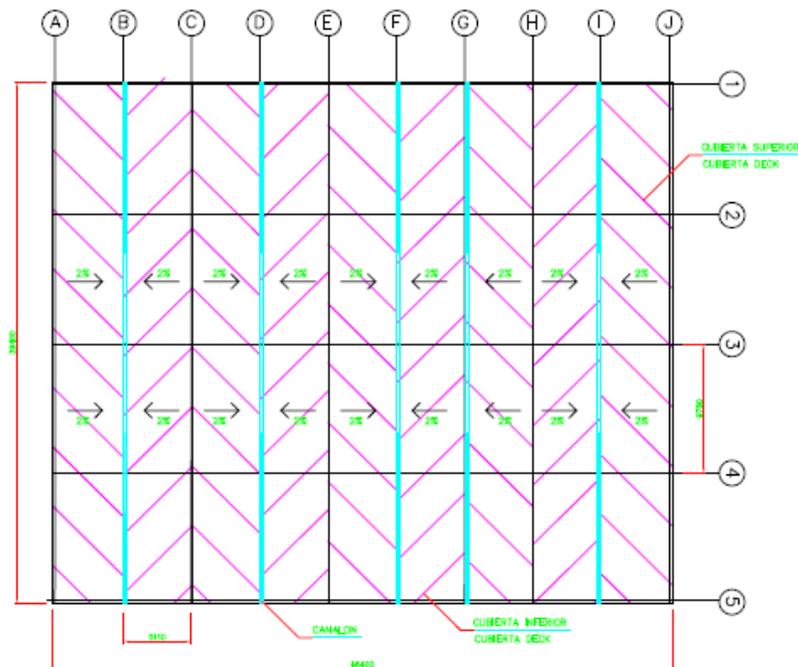


Acudiendo a la tabla B.1 del Apéndice B del Documento Básico HS 5 con estos datos, se obtiene que la intensidad pluviométrica i tendrá un valor de 155 mm/h.

Tabla B.1
Intensidad Pluviométrica i (mm/h)

Isoyeta	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Zona A	30	65	90	125	155	180	210	240	275	300	330	365
Zona B	30	50	70	90	110	135	150	170	195	220	240	265

Como se ha indicado anteriormente, el dimensionamiento de los elementos de evacuación de aguas pluviales será función de la superficie de cubierta en proyección horizontal. En el siguiente plano de cubierta se observa que la superficie en proyección horizontal total de la misma es de aproximadamente 1.800 m².



Sin embargo, deben considerarse dos áreas pluviales distintas atendiendo a la dirección de vertido indicada en la imagen, ya que se situarán canalones a ambos laterales del pabellón, y la superficie de éstas será:

$$S_1 = S_2 = 19'5 \times 46'0 = 897 \text{ m}^2$$

Se ha establecido la siguiente disposición que se muestra en la imagen, tomando como áreas

$$S_1 = S_2 = 19'5 \times 2 \times 5'11 = 200 \text{ m}^2$$

$$S_1 = S_2 = 19'5 \times 5'11 = 100 \text{ m}^2$$

Dando lugar a un total de 5 sumideros.

3.2.1.2 Canalones

El diámetro nominal de los canalones de sección semicircular de evacuación de aguas pluviales, se establecerá en función de los valores dados en la tabla siguiente, a partir de su pendiente y de la superficie a la que da servicio.

Tabla 4.7 Diámetro del canalón para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Máxima superficie de cubierta en proyección horizontal (m ²)				Diámetro nominal del canalón (mm)
Pendiente del canalón				
0.5 %	1 %	2 %	4 %	
35	45	65	95	100
60	80	115	165	125
90	125	175	255	150
185	260	370	520	200
335	475	670	930	250

Sin embargo, dichos valores corresponde a un régimen con intensidad pluviométrica de 100 mm/h, por lo que de acuerdo a lo establecido en el DB HS 5 debe aplicarse un factor de corrección *f* a la superficie obtenida, para todo régimen con intensidad pluviométrica diferente, como en el caso a estudio.

Dicho factor de corrección vendrá dado por la ecuación:

$$f = i / 100$$

Con lo que, para el pabellón polideportivo, se tiene que:

$$f = i / 100 = 155/100 = 1,55$$

$$S'_1 = S'_2 = 1,55 \times 200 = 310 \text{ m}^2$$

Para esta superficie de cubierta se podría optar por utilizar una pendiente de canalón del 1% y un diámetro de canalón de 250mm.

3.2.1.3 Bajantes

El diámetro nominal de las bajantes se establecerá en función de la superficie de cubierta en proyección horizontal servida por cada una de ellas, considerando el factor de corrección anteriormente indicado, atendiendo a los valores establecidos en la tabla 4.8 del DB HS 5 que se muestra a continuación:

Tabla 4.8 Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Superficie en proyección horizontal servida (m ²)	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

Como se ha realizado anteriormente en el caso que nos ocupa tenemos un régimen pluviométrico de 155 mm/h, por ello deberemos corregir nuestra protección de superficie:

$$f = i / 100 = 155/100 = 1,55$$

$$S'_1 = S'_2 = 1,55 \times 200 = 310 \text{ m}^2$$

Con esta superficie, se optará por utilizar un diámetro nominal de bajante de 90mm.

3.2.1.4 Colectores

El diámetro de los colectores de aguas pluviales se establecerá en función de su pendiente y de la superficie a la que sirve considerando también el factor de corrección anteriormente indicado, atendiendo a los valores establecidos en la tabla 4.9 del DB HS 5 que se muestra a continuación:

Tabla 4.9 Diámetro de los colectores de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Superficie proyectada (m ²)			Pendiente del colector	Diámetro nominal del colector (mm)
1 %	2 %	4 %		
125	178	253		90
229	323	458		110
310	440	620		125
614	862	1.228		160
1.070	1.510	2.140		200
1.920	2.710	3.850		250
2.016	4.589	6.500		315

Con una superficie de 310 m² y una inclinación del 2% será necesario utilizar un diámetro nominal de colector de 110mm.

Con una superficie de 610 m² y una inclinación del 2% será necesario utilizar un diámetro nominal de colector de 160mm.

Con una superficie superior a 610 m² y una inclinación del 2% será necesario utilizar un diámetro nominal de colector de 200mm.

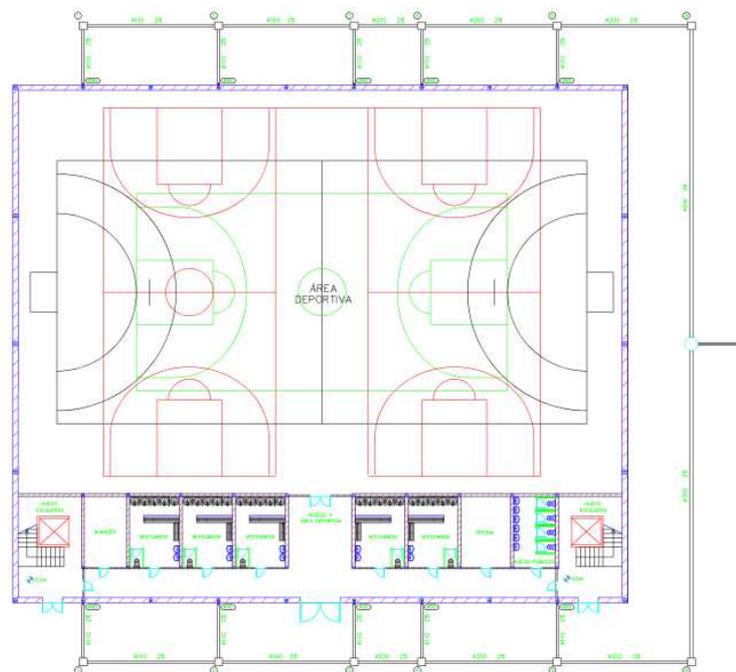
3.2.1.5 Arquetas

Para el cálculo de el dimensionamiento de las arquetas hay que tener en cuenta el diámetro del colector de salida, es por eso que dispondremos arquetas con distintas dimensiones.

Tabla 4.13 Dimensiones de las arquetas

L x A [cm]	Diámetro del colector de salida [mm]								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	40 x 40	50 x 50	60 x 60	60 x 70	70 x 70	70 x 80	80 x 80	80 x 90	90 x 90

Siendo la que se muestra a continuación la instalación final de la evacuación de aguas, tendremos las siguientes arquetas:



Siendo el orden de las arquetas de izquierda a derecha y simétricas por ambas partes:

ARQUETAS	
REFERENCIA	Dimensiones (cm)
1	50x50
2	60x60
3	60x70
4	60x70
5	60x70
6	60x70

3.2.1.6 Presupuesto

Código	Descripción	Unidades	Coste	Precio Total
10.1	Acometida general de saneamiento a la red general del municipio, de PVC liso, serie SN-4, rigidez anular nominal 4 kN/m ² , de 160 mm de diámetro, pegado mediante adhesivo. [Ud]	75'00	81'64	6.123'00
10.2	Canalón circular de PVC con óxido de titanio, para encolar, de desarrollo 250 mm, color gris claro. [Ud]	5'00	17'38	86'90
10.3	Arqueta de paso, prefabricada de hormigón, de dimensiones interiores 50x50x50 cm, sobre solera de hormigón en masa, con marco y tapa prefabricados de hormigón armado y cierre hermético al paso de los olores mefíticos. [Ud]	2'00	122'76	245'52
10.4	Arqueta de paso, prefabricada de hormigón, de dimensiones interiores 60x60x60 cm, sobre solera de hormigón en masa, con marco y tapa prefabricados de hormigón armado y cierre hermético al paso de los olores mefíticos. [Ud]	2'00	157'23	314'46
10.5	Arqueta de paso, prefabricada de hormigón, de dimensiones interiores 60x70x60 cm, sobre solera de hormigón en masa, con marco y tapa prefabricados de hormigón armado y cierre hermético al paso de los olores mefíticos. [Ud]	8'00	183'15	1.465'20

10.6	Colector enterrado de saneamiento, con arquetas (no incluidas en este precio), de PVC liso, serie SN-4, rigidez anular nominal 4 kN/m ² , de 110 mm de diámetro, pegado mediante adhesivo. [Ud]	12'00	20'21	242'52
10.7	Colector enterrado de saneamiento, con arquetas (no incluidas en este precio), de PVC liso, serie SN-4, rigidez anular nominal 4 kN/m ² , de 160 mm de diámetro, pegado mediante adhesivo. [Ud]	2'00	28'92	57'84
10.8	Colector enterrado de saneamiento, con arquetas (no incluidas en este precio), de PVC liso, serie SN-4, rigidez anular nominal 4 kN/m ² , de 200 mm de diámetro, pegado mediante adhesivo. [Ud]	8'00	36'84	294'72
10.9	Bajante exterior insonorizada y resistente al fuego de la red de evacuación de aguas residuales, formada por PVC, serie B, insonorizado, de 90 mm de diámetro, unión con junta elástica. [Ud]	10'00	39'70	397'00

Total parcial.....9.227'16€

3.3 SISTEMA DE EVACUACIÓN DE INCENDIOS

3.3.1.1 Introducción

El presente estudio de protección contra incendios se ha redactado de acuerdo al Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio (DBSI) del Código Técnico de la Edificación (CTE), que establece las reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de seguridad en caso de incendio para los diversos usos y características de cada edificación.

Tal y como se describe en el artículo 11 de dicho Documento Básico, el objetivo es el de reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento. Para satisfacer este objetivo, los edificios deben proyectarse, construirse, mantenerse y utilizarse asegurando que, en caso de incendio, se cumplan las exigencias básicas de cada una de las secciones del citado Documento Básico (SI 1 a SI 6). De modo que la correcta aplicación de dicho conjunto de secciones, que se desarrollan a continuación, supone la satisfacción del requisito básico de "Seguridad en caso de incendio".

3.3.2 Exigencia básica SI 1 - Propagación interior

3.3.2.1 Compartimentación en sectores de incendio

De acuerdo a lo indicado en la exigencia básica SI 1, los edificios se deben compartimentar en sectores de incendio en función del uso previsto de los mismos. Dentro de los usos previstos establecidos, el polideportivo a proyectar pertenecerá al grupo de los edificios de pública concurrencia, debiendo cumplirse las condiciones que se indican en la tabla, que se muestra a continuación:

Pública Concurrencia

- La superficie construida de cada *sector de incendio* no debe exceder de 2.500 m², excepto en los casos contemplados en los guiones siguientes.
- Los espacios destinados a público sentado en asientos fijos en cines, teatros, auditorios, salas para congresos, etc., así como los museos, los espacios para culto religioso y los recintos polideportivos, feriales y similares pueden constituir un *sector de incendio* de superficie construida mayor de 2.500 m² siempre que:
 - a) estén compartimentados respecto de otras zonas mediante elementos EI-120;
 - b) tengan resuelta la evacuación mediante *salidas de planta* que comuniquen, bien con un *sector de riesgo mínimo* a través de *vestibulos de independencia*, o bien con un *espacio exterior seguro*;
 - c) los materiales de revestimiento sean B-s1,d0 en paredes y techos y B_{FL}-s1 en suelos;
 - d) la *densidad de la carga de fuego* debida a los materiales de revestimiento y al mobiliario fijo no exceda de 200 MJ/m² y
 - e) no exista sobre dichos espacios ninguna zona habitable.
- Las *cajas escénicas* deben constituir un *sector de incendio* diferenciado.

La superficie total de este proyecto es de $1.800 m^2$ aproximadamente.

Como se observa, la obra no excede la superficie límite establecida, pudiendo constituir un único sector de incendio.

De acuerdo a la definición del pabellón polideportivo como un único sector de incendio, las prescripciones de esta sección de la norma, relativas a la evaluación de la resistencia al fuego de los elementos separadores de los sectores de incendio, no serán aplicables, por no existir tales elementos.

3.3.2.2 Espacios ocultos. Paso de instalaciones a través de elementos de compartimentación de incendios

Al quedar definido el pabellón deportivo como un único sector de incendio, no existirán elementos de compartimentación de sectores de incendio a evaluar y, por tanto, no serán aplicables las prescripciones de esta sección de la norma.

3.3.2.3 Reacción al fuego de los elementos constructivos decorativos y de mobiliario

Por su parte, los elementos constructivos deben cumplir las condiciones de reacción al fuego que se establecen en la tabla, de la exigencia básica SI 1 del Documento Básico de Seguridad contra Incendios, que se muestra a continuación:

Tabla 2. Clases de reacción al fuego de los elementos constructivos

Situación del elemento	Revestimientos ⁽¹⁾	
	De techos y paredes ^{(2) (3)}	De suelos ⁽²⁾
Zonas ocupables ⁽⁴⁾	C-s2,d0	E _{FL}
Pasillos y escaleras protegidos	B-s1,d0	C _{FL} -s1
Aparcamientos y recintos de riesgo especial ⁽⁵⁾	B-s1,d0	B _{FL} -s1
Espacios ocultos no estancos, tales como patinillos, falsos techos y suelos elevados (excepto los existentes dentro de las viviendas) etc. o que siendo estancos, contengan instalaciones susceptibles de iniciar o de propagar un incendio.	B-s3,d0	B _{FL} -s2 ⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Siempre que superen el 5% de las superficies totales del conjunto de las paredes, del conjunto de los techos o del conjunto de los suelos del recinto considerado.

⁽²⁾ Incluye las tuberías y conductos que transcurren por las zonas que se indican sin recubrimiento resistente al fuego. Cuando se trate de tuberías con aislamiento térmico lineal, la clase de reacción al fuego será la que se indica, pero incorporando el subíndice L.

⁽³⁾ Incluye a aquellos materiales que constituyan una capa contenida en el interior del techo o pared y que no esté protegida por una capa que sea EI 30 como mínimo.

⁽⁴⁾ Incluye, tanto las de permanencia de personas, como las de circulación que no sean protegidas. Excluye el interior de viviendas. En uso Hospitalario se aplicarán las mismas condiciones que en pasillos y escaleras protegidos.

⁽⁵⁾ Véase el capítulo 2 de esta Sección.

⁽⁶⁾ Se refiere a la parte inferior de la cavidad. Por ejemplo, en la cámara de los falsos techos se refiere al material situado en la cara superior de la membrana. En espacios con clara configuración vertical (por ejemplo, patinillos) así como cuando el falso techo esté constituido por una celosía, retícula o entramado abierto, con una función acústica, decorativa, etc., esta condición no es aplicable.

De modo que, la calificación relativa a la reacción al fuego de los elementos constructivos del gimnasio para las zonas ocupables, deberá ser:

- ❖ Techos y paredes: C-s2, d0
- ❖ Suelos: E_{FL}

Dichas clases exigidas, también denominadas Euroclases, quedan determinadas de acuerdo a la norma UNE-EN 13501-1:2007 + A1:2010, según la combustibilidad, contribución al fuego, opacidad de humos y caída de gotas, de la siguiente manera:

Clasificación según: (clasificación principal)	COMBUSTIBILIDAD	Aplicación final			COMBUSTIBLE	CONTRIBUCIÓN AL FUEGO	
		Paredes Techos	Suelos	Productos lineales para aislamiento térmico de tuberías			
		A1	A1 _{FL}	A1 _L	NO	NO	Grado máximo
		A2	A2 _{FL}	A2 _L	NO	NO	Grado menor
		B	B _{FL}	B _L	SI	SI	Muy limitada
		C	C _{FL}	C _L	SI	SI	Limitada
		D	D _{FL}	D _L	SI	SI	Media
		E	E _{FL}	E _L	SI	SI	Alta
		F	F _{FL}	F _L	Sin clasificar, sin comportamiento determinado		
Clasificaciones adicionales según:	OPACIDAD DE HUMOS	Cantidad y velocidad de emisión			Baja	s1	Las clases A1, A1 _{FL} y A1 _L ; E, E _{FL} y E _L ; y F, F _{FL} y F _L no se califican en este concepto.
					Media	s2	
					Alta	s3	
	CAÍDA DE GOTAS O DE PARTÍCULAS INFLAMADAS	Sin caída en 600s			d0		Las clases A1, A1 _{FL} y A1 _L ; y F, F _{FL} y F _L no se califican en este concepto.
Sin caída durante más de 10s			d1				
Ni d0, ni d1			d2				

Tabla 3. Características de la resistencia al fuego de las zonas ocupables.

3.3.3 Exigencia básica SI2 - Propagación exterior

Con el fin de limitar el riesgo de propagación exterior horizontal del incendio a través de la fachada entre dos edificios, entre dos sectores de incendio, entre una zona de riesgo especial alto y otras zonas o hacia una escalera protegida o pasillo protegido desde otras zonas, la exigencia Básica SI 2 del DB-SI establece unas distancias mínimas de separación en aquellos puntos de dichas fachadas cuya resistencia al fuego no sea, al menos, EI 60.

No obstante, dado que el polideportivo ha quedado definido como un único sector de incendios, sin sectores de riesgo especial alto y ningún edificio colindante las prescripciones de esta sección de la norma no serán aplicables.

3.3.4 Exigencia básica SI3 - Evacuación de ocupantes

3.3.4.1 Compatibilidad de elementos de evacuación

El pabellón deportivo no se encuentra dentro de un edificio cuyo uso previsto principal sea distinto del suyo, estando íntegramente destinado a su uso deportivo quedando calificado como establecimiento de pública concurrencia, por lo que no es necesario el cumplimiento de las prescripciones de esta sección de la norma.

3.3.4.2 Calculo de la ocupación

El cálculo de la ocupación se realiza de acuerdo a los valores de densidad de ocupación indicados en la tabla 2.1 de la exigencia básica a estudio, en función de la superficie útil de cada zona, debiendo tenerse en cuenta el carácter simultáneo o alternativo de las diferentes zonas del edificio, el régimen de actividad y el uso previsto para el mismo.

Debe tenerse en cuenta que de acuerdo a lo establecido en la norma, para aquellos recintos o zonas no incluidas en la tabla se aplicarán los valores correspondientes a los que sean más asimilables. Atendiendo a esto, en el polideportivo, perteneciente al grupo de edificios de pública concurrencia, se definen las densidades de ocupación que se muestran a continuación:

- ❖ Vestuarios y otras dependencias similares: 2 m² /persona
- ❖ Vestíbulos generales, zonas de uso público en plantas de sótano baja y entreplanta: 2 m² /persona
- ❖ Zonas de oficinas: 10 m²/persona
- ❖ Almacenes: 40 m²/persona
- ❖ Aseos de planta: 3 m²/persona
- ❖ Conjunto de planta - Áreas polideportivas: 10 m²/persona

La superficie útil total de cada una de las zonas definidas es:

- ❖ Vestuarios y otras dependencias similares: 102,05 m²
- ❖ Vestíbulos generales, zonas de uso público en plantas de sótano baja y entreplanta: 271'51 m²
- ❖ Zonas de oficinas: 20'41 m²
- ❖ Almacén: 17'11 m²

- ❖ Aseos de planta: 17'11m²
- ❖ Conjunto de planta - Área deportiva: 1.400 m²

Teniendo en cuenta que el graderío consta de 288 asientos, en los que se estima una persona por asiento.

De modo que la ocupación total máxima del gimnasio será de: 545 personas

3.3.4.3 Número de salidas y longitud de los recorridos de evacuación

El número de salidas, como mínimo, así como la longitud de los recorridos de evacuación hasta ellas, se establece de acuerdo a lo indicado en la tabla 3.1 del Documento básico DB-SI.

En el caso del polideportivo, al tratarse de un edificio de ocupación superior a las 100 personas, la evacuación debe proyectarse a través de más de una salida, siendo la longitud de los recorridos de evacuación hasta alguna de éstas no superior a los 50 metros.

3.3.4.4 Dimensionado de los medios de evacuación

- ❖ Puertas y pasos

En el dimensionamiento de las puertas y pasos del edificio, debe tenerse en cuenta que cuando en un recinto deba existir más de una salida, considerando también como tales los puntos de paso obligado, la distribución de los ocupantes entre ellas a efectos de cálculo se realizará suponiendo inutilizada una de ellas.

Como se observa en los planos, en el pabellón polideportivo se han previsto dos salidas de doble hoja de 2,1 metros cada una.

El correcto dimensionamiento de las mismas se comprueba atendiendo a la siguiente ecuación:

$$A \geq P / 200 \geq 0,80 \text{ m}$$

Siendo:

A: Anchura del elemento [m]

P: Número total de personas cuyo paso está previsto por el punto cuya anchura se dimensiona.

Para una ocupación total máxima de 545 personas, considerando las dos salidas restantes anteriormente indicadas, de doble hoja de 1,2 m cada una, tenemos:

$P = 545 / 2 = 272'5$ personas por salida.

$A = 2,1$ m

Con lo que, se cumple que:

$$A = 2,1 \text{ m} \geq 272'5 / 200 = 1'36 \text{ m} \geq 0'8 \text{ m}$$

❖ Paso entre filas de asientos

El dimensionamiento de los pasos entre filas de asientos debe realizarse de acuerdo a los siguientes criterios:

- En las filas con salida a pasillo únicamente por uno de sus extremos $A \geq 30$ cm cuanto tenga 7 asientos y 2'5 cm más por cada asiento adicional hasta un máximo admisible de 12 asientos.
- En filas con salida a pasillo por sus dos extremos, $A \geq 30$ cm en filas de 14 asientos como máximo 1'25 cm más por cada asiento adicional. Para 30 asientos o más $A \geq 50$.

En esta ocasión solo encontramos con filas con salida a pasillo por su dos extremos y acudiendo a las características técnicas del graderío calculado, se comprueba que la anchura de paso entre filas es de 60cm, cumpliéndose que

$$A = 40 \text{ cm} \geq 30 \text{ cm}$$

❖ Escaleras

Las escaleras existentes en el gimnasio deberán comprobarse para la utilización de las mismas en evacuación ascendente, que viene dada por la ecuación:

$$A \geq P / (160 - 10h)$$

Siendo:

A: Anchura del elemento [m]

P: Número total de personas cuyo paso está previsto por el punto cuya anchura se dimensiona.

h: Altura de la evacuación ascendente. [m]

Suponiendo que todas las personas fueran evacuadas por la misma escalera:

$P = 144$ personas/escalera

Con lo que, la anchura deberá ser:

$$A \geq P / 160 = 144 / (160 - 10 \times 5'6\text{m}) = 1,38 \text{ m}$$

Además, debe comprobarse también el cumplimiento de la anchura mínima indicada en el apartado 4.2.2 del Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad – Sección SUA 1.

- Longitud del recorrido de evacuación

Como se puede comprobar en los planos, en ningún caso la longitud del recorrido de evacuación supera los 50 metros, establecidos como longitud máxima para edificios con más de una salida de planta.

3.3.4.5 Puertas situadas en recorridos de evacuación

Las puertas previstas como salida de planta o de edificio y las previstas para la evacuación de más de 50 personas serán abatibles con eje de giro vertical y su sistema de cierre consistirá en un dispositivo de fácil y rápida apertura desde el lado del cual provenga dicha evacuación, sin tener que utilizar una llave y sin tener que actuar sobre más de un mecanismo. Para ello, se emplearán dispositivos de apertura de barra horizontal de empuje o de deslizamiento conforme a la norma UNE-EN 1125:2009.

Todas las puertas de salida del polideportivo deberán, por tanto, cumplir los requisitos anteriores, al estar previstas para el paso de más de 100 personas y más de 50 ocupantes del recinto.

3.3.4.6 Señalización de los medios de evacuación

A Se utilizarán las señales de evacuación definidas en la norma UNE 23034:1988: Seguridad contra incendios. Señalización de seguridad. Vías de evacuación, conforme a los siguientes criterios:

- Las salidas de recinto, planta o edificio tendrán una señal con el rótulo “SALIDA”.
- Las señales con el rótulo “Salida de emergencia” deben utilizarse en toda salida prevista para uso exclusivo en caso de emergencia.
- Deben disponerse señales indicativas de dirección de los recorridos, visibles desde todo origen de evacuación desde el que no se perciban directamente las salidas o sus señales indicativas y, en particular, frente a toda salida de un recinto con ocupación mayor que 100 personas que acceda lateralmente a un pasillo.

- En los puntos de los recorridos de evacuación en los que existan alternativas (cruces o bifurcaciones de pasillos) que puedan inducir a error, también se dispondrán las señales antes citadas, de forma que quede claramente indicada la alternativa correcta.
- En dichos recorridos, junto a las puertas que no sean salida y que puedan inducir a error en la evacuación debe disponerse la señal con el rótulo “Sin salida” en lugar fácilmente visible pero en ningún caso sobre las hojas de las puertas.
- Las señales se dispondrán de forma coherente con la asignación de ocupantes que se pretenda hacer a cada salida, conforme a lo establecido anteriormente.
- Los itinerarios accesibles para personas con discapacidad que conduzcan a una salida del edificio accesible se señalarán mediante las señales establecidas en los párrafos anteriores acompañadas del SIA (Símbolo Internacional de Accesibilidad para la movilidad).

Las señales deben ser visibles incluso en caso de fallo en el suministro al alumbrado normal. Cuando sean fotoluminiscentes deben cumplir lo establecido en las diversas partes de la norma *UNE 23035*.

3.3.4.7 Control del humo de incendio

Dadas las características de la obra, no será necesaria la instalación de un sistema de control del humo de incendio, al no superarse la ocupación de 1.000 personas establecida como límite para locales de concurrencia pública.

3.3.5 Exigencia básica SI4 - Instalaciones de protección contra incendios

3.3.5.1 Dotación de instalaciones de protección contra incendios

A Los edificios deben disponer de los equipos e instalaciones de protección contra incendios que se indican en la tabla 1.1 de la exigencia básica a estudio. En el caso del pabellón polideportivo proyectado, como establecimiento de pública concurrencia:

- Será necesaria la instalación de bocas de incendio equipadas del tipo 25 mm, al exceder de 500 m² la superficie construida de la edificación.
- Un sistema de detección de incendios
- Será necesaria la instalación de extintores portátiles, de eficacia 21A -113B, a 15 m de recorrido en cada planta, como máximo, desde todo origen de evacuación.

No será necesaria la instalación de un sistema de alarma apto para emitir mensajes por megafonía, ni la de hidrantes exteriores e instalaciones de columna seca, al no excederse la

ocupación de 500 personas, no superarse la superficie construida de 5.000 m² y no exceder la altura de evacuación de 24 metros, respectivamente.

3.3.5.2 Características y emplazamiento de los equipos e instalaciones de protección contra incendios

- Bocas de incendio equipadas

Los sistemas de bocas de incendio equipadas estarán compuestos por una fuente de abastecimiento de agua, una red de tuberías para la alimentación de agua y las bocas de incendio equipadas (BIE) necesarias. En el caso del pabellón a proyectar, las bocas de incendio equipadas (BIE) serán de 25 mm y estarán provistas, como mínimo, de los siguientes elementos: boquilla, lanza, manguera, racores, válvula, manómetro, soporte y armario.

De acuerdo a lo establecido en el Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios y sus posteriores modificaciones, las bocas de incendio equipadas deberán, antes de su fabricación o importación, ser aprobadas de acuerdo a lo establecido en las diversas partes de la norma UNE-EN 671 "Instalaciones fijas de lucha contra incendios. Sistemas equipados con mangueras", debiendo justificarse, cuando así se determine, mediante certificación de organismo de control que posibilite la colocación de la correspondiente marca de conformidad a normas.

La red de tuberías deberá proporcionar, durante una hora, como mínimo, en la hipótesis de funcionamiento simultáneo de las dos BIE hidráulicamente más desfavorables, una presión dinámica mínima de 2 bar en el orificio de salida de cualquier BIE. Las condiciones establecidas de presión, caudal y reserva de agua deberán estar adecuadamente garantizadas.

- Emplazamiento de las bocas de incendio equipadas

Las bocas de incendio equipadas deberán situarse sobre un soporte rígido, de forma que su centro quede a una altura de 1,5 m, como máximo, con relación al suelo. Esta altura podrá ser algo superior en el caso de las BIE de 25 mm, siempre que la boquilla y la válvula manual, se encuentren a una altura máxima anteriormente indicada. Se situará, siempre que sea posible, cerca de las puertas o salidas de cada sector de incendios, a una distancia máxima de 5 m, teniendo en cuenta que no deberán constituir obstáculo para la utilización de las mismas.

El número y distribución de las BIE será tal que la totalidad de la superficie del sector de incendio en que estén instaladas quede cubierta por una BIE, considerando como radio de acción de ésta la longitud de su manguera incrementada en 5 m, es decir, 25 m sobre recorridos reales. La separación máxima entre cada BIE y su más cercana será de 50 m, debiendo mantenerse alrededor de cada boca de incendio equipada una zona libre de obstáculos que permita el acceso y maniobra, sin dificultad.

Atendiendo a los criterios expuestos, se instalarán bocas de incendio, con las siguientes características:



- Boca de incendio equipada (BIE) de 25 mm.
 - Armario en acero de 1,2 mm de espesor.
 - Puerta semiciega con ventana de metacrilato.
 - Acabado con pintura epoxi color rojo RAL 3000.
 - Devanadera metálica giratoria fija.
 - Manguera semirrígida de 20 m de longitud con lanza de tres efectos (cierres, pulverización y chorro compacto) construida en plástico ABS.
- Ensayos y pruebas. Operaciones de mantenimiento de la instalación.

Antes de su puesta en servicio, la instalación de bocas de incendio equipadas se someterá a una prueba de estanquidad y resistencia mecánica, sometiendo a la red a una presión estática igual a la máxima de servicio y como mínimo a 980 kPa (10 kg/cm²), manteniendo dicha presión de prueba durante dos horas, como mínimo, no debiendo aparecer fugas en ningún punto de la instalación.

En cumplimiento del programa mínimo de mantenimiento establecido en el Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, la instalación deberá someterse también a las siguientes operaciones:

Cada tres meses:

- Comprobación de la buena accesibilidad y señalización de los equipos.

- Comprobación por inspección de todos los componentes, procediendo a desenrollar la manguera en toda su extensión y a accionar la boquilla en sus diversas posiciones.
- Comprobación, por lectura del manómetro, de la presión de servicio.
- Limpieza del conjunto y engrase de cierres y bisagras en puertas del armario.
- Estas operaciones, deberán ser efectuadas por personal de una empresa instaladora autorizada, o bien, por el personal del usuario o titular de la instalación.

Cada año:

- Desmontaje de la manguera y ensayo de ésta en lugar adecuado.
- Comprobación del correcto funcionamiento de la boquilla en sus distintas posiciones y del sistema de cierre.
- Comprobación de la estanquidad de los racores y manguera y estado de las juntas.
- Comprobación de la indicación de manómetro con otro de referencia (patrón) acoplado en el racor de conexión de la manguera.

Cada cinco años

- La manguera debe ser sometida a una presión de prueba de 15kg/cm²

Estas operaciones deberán ser efectuadas por personal del fabricante, empresa instaladora o mantenedora autorizada para los tipos de equipos, o bien por personal del usuario, si ha adquirido la condición de mantenedor por disponer de medios técnicos adecuados, a juicio de los servicios competentes en materia de industria de la Comunidad Autónoma.

Además de estas operaciones, deberán cumplir las condiciones de mantenimiento y uso que figuren en las instrucciones técnicas del fabricante.

- Sistema de detección de incendios

De acuerdo a lo establecido en la Exigencia Básica SI 4, el pabellón a proyectar deberá disponer de un sistema de detección contra incendios, que permita la detección y localización del incendio, así como la puesta en marcha automática de aquellas secuencias del plan de alarma incorporadas a la central de detección para garantizar la seguridad de los ocupantes del edificio agilizando la respuesta ante un incendio localizado en una zona en concreto o en varias a la vez.

Los sistemas de detección de incendio, sus características y especificaciones deberán ajustarse a lo especificado en las diversas partes de la norma UNE 23007 y la norma UNE-EN 54: "Sistemas de detección y de alarma de incendios", debiendo justificarse, cuando así se

determine, mediante certificación de organismo de control que posibilite la colocación de la correspondiente marca de conformidad a normas.

Características generales:

El sistema de detección contra incendios estará compuesto por los siguientes elementos principales:

- Central de control y señalización de incendios:

En todo sistema de detección contra incendios, los dispositivos de detección y alarma deben conectarse a una central, que constituirá la parte principal del sistema de detección de incendios para incluir toda la lógica de funcionamiento por la cual se llevan a cabo las acciones preventivas programadas en caso de emergencia y controlar individualmente todos los equipos que componen la instalación.

El equipo de control y señalización estará provisto de señales ópticas y acústicas para el control de cada una de las zonas en que se halla dividido el edificio.

- Detectores automáticos de incendio:

Serán los encargados de detectar el fuego a través de alguno de fenómenos que le acompañan: gases, humos, temperaturas, radiación UV... La elección del tipo de detector está condicionada por muchas las variables:

- El tipo de material incendiabile.
- La cantidad y concentración en la que se presenta el material incendiabile.
- La altura del techo y la forma del mismo, que puede acumular o dispersar el humo y la temperatura.
- El valor de la propiedad y su ocupación.

Atendiendo a las características del pabellón a proyectar, se emplearán detectores ópticos de humos, más rápidos que los detectores de temperatura que precisan que el fuego haya tomado un cierto incremento antes de detectarlo. Además, resultan más adecuados para la protección de espacios amplios, debido a la mayor dificultad de disipación del humo frente al calor en esas condiciones. Dichos detectores deberán estar específicamente capacitados para detectar el tipo de incendio que previsiblemente se pueda producir en el local, evitando que puedan activarse en situaciones que no se correspondan con una emergencia real-

- Pulsadores o sistemas manuales de alarma de incendios:

El sistema de detección contra incendios constará de pulsadores o sistemas manuales de alarma, distribuidos por toda la instalación o edificio, que permitirán su accionamiento voluntario, transmitiendo la señal a la central de control y señalización, de tal forma que sea fácilmente identificable la zona en que ha sido activado el pulsador.

- Sistemas acústicos de comunicación de alarma:

El sistema de comunicación de alarma estará formada por elementos de transmisión de señal acústica, sirenas, que generarán una señal diferenciada en caso de que se active uno de los elementos de identificación de incendio. La señal será, en todo caso, audible, permitiendo que sea percibida en el ámbito de cada sector de incendio donde esté instalada.

- Elementos de unión entre los anteriores:

Son los elementos que unen a los detectores, pulsadores y sirenas entre sí, y a la central, debiendo disponer de aislamiento con baja emisión de humos y no propagadores de la llama.

- Emplazamiento de los diversos elementos del sistema de detección de incendios:

Central de control y señalización de incendios:

Estará situado en lugar fácilmente accesible y de forma que sus señales puedan ser percibidas permanentemente. Cuando se prevea que la vigilancia no será permanente se dispondrá un sistema de transmisión de sus señales al servicio de extinción de incendios más próximo, a personas responsables o a la fachada del edificio.

Atendiendo a las características expuestas, se instalará una central de detección automática de incendios convencional del fabricante GOLMAR, con las siguientes características:



Central de detección de incendio convencional CCD-104

- Dieciséis zonas de detección

- Montada en carcasa de plástico ABS.
- Discrimina entre alarma de detector y alarma de pulsador.
- Salidas de sirenas supervisadas configurables (1A consumo máximo), salidas de alarma y avería por relé libre de tensión, salida 24V auxiliares (500 mA consumo máximo), salida 24V reseteables (500 mA consumo máximo) y entrada exterior.
- Panel de control con indicador óptico-acústico de alarma y avería por zona.
- Teclado multilingüe.

- Detectores automáticos de incendio

Los detectores ópticos de humos estarán distribuidos por todo el pabellón, para ser capaces de señalar la presencia de un incendio en su estado inicial. El tipo, número, situación y distribución de los detectores, garantizará la detección del fuego en la totalidad de la zona a proteger.

En zonas con superficie igual o inferior a 80 m² se instalará como mínimo un detector y a una altura no superior a 12 m. En zonas con superficie superior a 80 m² se instalará como mínimo un detector cada 60 m² si la altura del local es igual o inferior a 6 m y cada 80 m² si su altura está comprendida entre 6 y 12 m. En pasillos de hasta 3 m de anchura se dispondrá, al menos, un detector cada 11,5 m.

- Pulsadores o sistemas manuales de alarma de incendios

Los pulsadores de alarma se situarán de modo que la distancia máxima a recorrer, desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador, no supere los 25 metros, debiendo ser accesibles ubicándose en una altura de entre los 0,2 y 1,2 m, y siendo recomendable su ubicación cerca de las puertas de evacuación.

- Sistemas acústicos de comunicaciones de alarma

El sistema acústico de comunicación de alarma deberá instalarse en cumplimiento de niveles sonoros especificados en la norma UNE 23007-14. La señal deberá ser audible en todo caso y además, deberá ser visible cuando el nivel de ruido donde deba ser percibida supere los 60 dB(A). No superará los 120 dB(A) en ningún punto situado a más de 1 m del dispositivo.

- Ensayos y pruebas. Operaciones de mantenimiento de la instalación

La instalación de detección automática de incendios deberá someterse antes de su recepción a un control general de funcionamiento. Además, en cumplimiento del programa mínimo de

mantenimiento establecido en el Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, la instalación deberá someterse a las siguientes operaciones:

Cada tres meses:

- Comprobación de funcionamiento de la instalación (con cada fuente de suministro).
- Sustitución de pilotos, fusibles, etc... defectuosos.
- Mantenimiento de acumuladores.

Estas operaciones, deberán ser efectuadas por personal de una empresa instaladora autorizada, o bien, por el personal del usuario o titular de la instalación.

Cada año:

- Verificación integral de la instalación.
- Limpieza del equipo de centrales y elementos accesorios.
- Verificación de uniones roscadas o soldadas.
- Limpieza y reglaje de relés.
- Regulación de tensiones e intensidades.
- Verificación de los equipos de transmisión de alarma.
- Prueba final de la instalación con cada fuente de suministro eléctrico.

Estas operaciones deberán ser efectuadas por personal del fabricante, empresa instaladora o mantenedora autorizada para los tipos de equipos, o bien por personal del usuario, si ha adquirido la condición de mantenedor por disponer de medios técnicos adecuados a juicio de los servicios competentes en materia de industria de la Comunidad Autónoma.

Además de estas operaciones, deberán cumplir las condiciones de mantenimiento y uso que figuren en las instrucciones técnicas del fabricante.

❖ Extintores portátiles

En el caso del pabellón a proyectar, será necesaria la instalación de extintores portátiles de eficacia 21A-113B. La selección del agente extintor se realiza atendiendo a la clasificación establecida en la tabla I-1 del Real Decreto 1942/1993, seleccionándose extintores de polvo ABC de 6 Kg de capacidad.

❖ Emplazamiento:

Se ubicaran extintores portátiles de tal forma que el recorrido desde cualquier punto de ocupación hasta alguno de ellos, sea como máximo de 15 m, según lo establecido en el DB-SI 4.

Su emplazamiento permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, estando situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio, a ser posible próximos a las salidas de evacuación y preferentemente sobre soportes fijados a paramentos verticales, de modo que la parte superior del extintor quede a 1,70 m, como máximo, sobre el suelo.



Extintor de polvo ABC de 6 Kg

- Extintor de polvo químico ABC de 6 Kg.
- Color rojo RAL-3000.
- Con soporte mural, manguera, base de plástico, manómetro de latón y válvula de disparo rápido.
- Soldadura en la parte central del cilindro.
- Eficacia: 21A - 113B-C.
- Dimensiones: Ø 150 mm x 528 mm.
- Peso del producto: 9,22 Kg (cargado).
- Presión de prueba: 23 Bar.

❖ Ensayos y pruebas. Operaciones de mantenimiento de la instalación

Los extintores deberán estar homologados de acuerdo a lo establecido en la norma UNE 23110. El cumplimiento de dicha norma debe estar certificado por un organismo de control autorizado, que deberá emitir un certificado de marca de conformidad de normas, tal y como se especifica en el Reglamento de instalaciones de protección contra Incendios.

Además, en cumplimiento del programa mínimo de mantenimiento establecido en el Real Decreto 1942/1993, deberán someterse a las siguientes operaciones:

Cada tres meses:

- Comprobación de la accesibilidad, señalización, buen estado aparente de conservación.
- Inspección ocular de seguros, precintos, inscripciones, etc.
- Comprobación del peso y presión en su caso.
- Inspección ocular del estado externo de las partes mecánicas (boquilla, válvula, manguera, etc.).

Estas operaciones, deberán ser efectuadas por personal de una empresa instaladora autorizada, o bien, por el personal del usuario o titular de la instalación.

Cada año:

- Comprobación del peso y presión en su caso.
- En el caso de extintores de polvo con botellín de gas de impulsión se comprobará el buen estado del agente extintor y el peso, y el aspecto externo del botellín.
- Inspección ocular del estado de la manguera, boquilla o lanza, válvulas y partes mecánicas.
- No será necesaria la apertura de los extintores portátiles de polvo con presión permanente, salvo que en las comprobaciones que se citan se hayan observado anomalías que lo justifique. En el caso de apertura del extintor, la empresa mantenedora situará en el exterior del mismo un sistema indicativo que acredite que se ha realizado la revisión interior del aparato.
- Como ejemplo de sistema indicativo de que se ha realizado la apertura y revisión interior del extintor, se puede utilizar una etiqueta indeleble, en forma de anillo, que se coloca en el cuello de la botella antes del cierre del extintor y que no pueda ser retirada sin que se produzca la destrucción o deterioro de la misma.

A partir de la fecha de timbrado del extintor:

- Se procederá (por tres veces) al retimbrado del mismo, de acuerdo con la ITC-MIE-AP5 del Reglamento de aparatos a presión sobre extintores de incendios. Rechazándose aquellos extintores que, a juicio de la empresa mantenedora, presenten defectos que pongan en duda el correcto funcionamiento y la seguridad del extintor o bien aquellos para los que no existan piezas originales que garanticen el mantenimiento de las condiciones de fabricación.

Estas operaciones deberán ser efectuadas por personal del fabricante, empresa instaladora o mantenedora autorizada para los tipos de equipos, o bien por personal del usuario, si ha adquirido la condición de mantenedor por disponer de medios técnicos adecuados a juicio de los servicios competentes en materia de industria de la Comunidad Autónoma.

Además de estas operaciones, deberán cumplir las condiciones de mantenimiento y uso que figuren en las instrucciones técnicas del fabricante.

Quedan definidos, por tanto, los distintos sistemas de detección, alarma y extinción que deben formar parte de la instalación de protección de incendios del pabellón polideportivo. La distribución de éstas, puede observarse en el plano correspondiente a la protección contra incendios del pabellón.

La instalación de los aparatos, equipos, sistemas y componentes, anteriormente indicados, con excepción de los extintores portátiles, se realizará por empresas instaladoras debidamente habilitadas.

Antes de la puesta en funcionamiento de las instalaciones, el titular de la instalación presentará, ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma Vasca, un certificado de la empresa instaladora, firmado por el responsable técnico de la misma.

Las revisiones de conservación establecidas para los distintos elementos de protección contra incendios deberán constar en acta. Las actas de estas revisiones, firmadas por el técnico que las realizara, estarán a disposición de los servicios competentes en materia de industria de la Comunidad Autónoma al menos durante cinco años a partir de la fecha de su expedición.

3.3.5.3 Señalización de instalaciones manuales de protección contra incendios

Los medios de protección contra incendios de utilización manual (extintores, bocas de incendio, hidrantes exteriores, pulsadores manuales de alarma...) se deben señalar mediante señales definidas en la norma UNE 23033-1 cuyo tamaño sea:

a) 210 x 210 mm cuando la distancia de observación de la señal no exceda de 10 m.

b) 420 x 420 mm cuando la distancia de observación esté comprendida entre 10 y 20 m.

c) 594 x 594 mm cuando la distancia de observación esté comprendida entre 20 y 30 m.

Las señales deben ser visibles incluso en caso de fallo en el suministro al alumbrado normal. Cuando sean fotoluminiscentes, deben cumplir lo establecido en las diversas partes de la norma UNE 23035.

3.3.6 Exigencia básica SI5 intervención de los bomberos

3.3.6.1 Condiciones de aproximación, entorno y accesibilidad

En el caso del pabellón polideportivo a proyectar, no será necesario el cumplimiento de las condiciones de aproximación y entorno debido a que la altura de evacuación descendente es inferior a los 9 metros indicados como valor límite. No obstante, aun no siendo necesaria la aplicación de dicha exigencia, cabe destacar la amplitud de los espacios abiertos en el entorno de la parcela, así como la de sus viales de aproximación.

3.3.6.2 Exigencia básica SI6 - Resistencia al fuego de la estructura

La elevación de la temperatura que se produce como consecuencia de un incendio en un edificio afecta a su estructura de dos formas diferentes. Por un lado, los materiales ven afectadas sus propiedades, modificándose de forma importante su capacidad mecánica, y por otro lado, aparecen acciones indirectas como consecuencia de las deformaciones de los elementos, que generalmente dan lugar a tensiones que se suman a las debidas a otras acciones. Por ello, es necesario el cumplimiento de la resistencia al fuego de los elementos estructurales (principales y secundarios) de acuerdo a lo establecido en la exigencia básica a estudio.

3.3.6.3 Elementos estructurales principales

De acuerdo a lo establecido en el Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio, la resistencia al fuego de un elemento estructural principal de un edificio (incluidos forjados, vigas y soportes), es suficiente si alcanza la clase indicada en la tabla que se muestra a continuación, que representa el tiempo en minutos de resistencia ante la acción representada por la curva normalizada tiempo temperatura.

Tabla 3.1 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales

Uso del sector de incendio considerado ⁽¹⁾	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante		
		altura de evacuación del edificio		
		≤15 m	≤28 m	>28 m
Vivienda unifamiliar ⁽²⁾	R 30	R 30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120 ⁽³⁾	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		R 90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R 120 ⁽⁴⁾		

⁽¹⁾ La resistencia al fuego suficiente R de los elementos estructurales de un suelo que separa sectores de incendio es función del uso del sector inferior. Los elementos estructurales de suelos que no delimitan un sector de incendios, sino que están contenidos en él, deben tener al menos la resistencia al fuego suficiente R que se exija para el uso de dicho sector

⁽²⁾ En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

⁽³⁾ R 180 si la altura de evacuación del edificio excede de 28 m.

⁽⁴⁾ R 180 cuando se trate de aparcamientos robotizados.

Dado que la edificación proyectada tiene un uso previsto de pública concurrencia y la altura máxima sobre rasante no superará en ningún caso los 15 metros de altura, los elementos estructurales principales (vigas, jácenas, pilares...) deberán ofrecer una resistencia al fuego R 90, es decir, la estructura deberá resistir en caso de incendio durante al menos 90 minutos.

No obstante, atendiendo a lo indicado en el punto posterior de dicho apartado, las estructuras principales de cubiertas ligeras (vigas y jácenas) no previstas para ser utilizadas en la evacuación de los ocupantes y cuya altura respecto de la rasante exterior no exceda de 28m, así como los elementos que únicamente sustenten dichas cubiertas, podrán ser R 30 cuando su fallo no pueda ocasionar daños graves a los edificios o establecimientos próximos, ni comprometer la estabilidad de otras plantas inferiores a la compartimentación de los sectores de incendio. Debiendo entenderse como ligera aquella cubierta cuya carga permanente de debida únicamente a su cerramiento no exceda de 1kN/m².

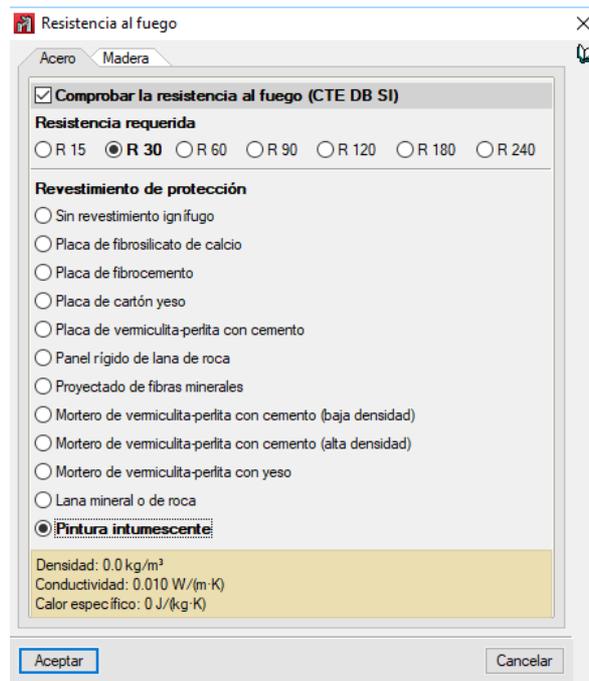
Teniendo en cuenta que el pabellón a proyectar cumple con los requisitos expuestos, la resistencia al fuego requerida a las vigas de la estructura puede disminuirse, y deberá ser de R 30.

3.3.6.4 Elementos estructurales secundarios

Por su parte, los elementos estructurales secundarios (viguetas, correas...) cuyo colapso ante la acción directa del incendio no pueda ocasionar daños a los ocupantes, ni comprometer la estabilidad global de la estructura, la evacuación o la compartimentación en sectores de incendio del edificio, no precisan cumplir ninguna exigencia de resistencia al fuego.

3.3.6.5 Determinación de los revestimientos en el programa de cálculo

Para el cumplimiento de esta disposición de la norma, en aquellos elementos en los que resulte necesario, se empleará un revestimiento de pintura intumescente. La determinación del revestimiento necesario se llevará a cabo mediante la introducción de los requisitos anteriormente establecidos en el siguiente cuadro del módulo "CYPE 3D" del programa de cálculo de estructuras Cypecad:



Del que se obtienen, tras su cálculo, los siguientes revestimientos para los elementos estructurales:

- ❖ Resistencia al fuego R90:
 - Pilares HEB 300: 1,2mm
 - Pilares HEB 240: 1,2mm
 - Pilarillos HEB 360: 1,2mm
- ❖ Resistencia al fuego R30:
 - Dintel 240: 0,4mm
 - Cordón superior HEB 180: 0,4mm
 - Cordón inferior HEB 200: 0,4mm

- Diagonales HEB 140: 0,4mm
- Montantes HEB 160: 0,4mm
- Vigas de atado HEB 140: 0,4mm
- Cruces de San Andrés: 0,4mm

3.3.7 PRESUPUESTO

Código	Descripción	Unidades	Coste	Precio Total
11.1	Extintor portátil de polvo químico ABC polivalente antibrasa, con presión incorporada, de eficacia 21A-144B-C, con 6 kg de agente extintor, amortizable en 3 usos. [Ud]	12'00	17'33	207'96
11.2	Central de detección automática de incendios, convencional, modular, de 4 zonas de detección, ampliable hasta 16 zonas. [Ud]	1'00	1.116'43	1.116'43
11.3	Sirena electrónica, de color rojo, para montaje interior, con señal acústica. [Ud]	2'00	66'05	132'10
11.4	Detector óptico de humos convencional, de ABS color blanco. [Ud]	26'00	48'52	1.261'52
11.5	Pulsador de alarma analógico direccionable de rearme manual con aislador de cortocircuito. [Ud]	14'00	65'55	917'70

11.6	Boca de incendio equipada (BIE) de 25 mm (1") de superficie, compuesta de armario de acero, acabado con pintura color rojo y puerta semiciega de acero, acabado con pintura color rojo; devanadera metálica giratoria fija; mangueras emirrígida de 20 m de longitud; lanza de tres efectos y válvula de cierre, colocada en aramento. [Ud]	7'00	442'61	3.098'27
11.7	Señalización de medios de evacuación, mediante placa de poliestireno fotoluminiscente, de 210x210 mm. [Ud]	26'00	9'31	242'06
11.8	Señalización de equipos contra incendios, mediante placa de poliestireno fotoluminiscente, de 210x210 mm. [Ud]	20'00	8'99	179'80
11.9	Luminaria de emergencia, instalada en la superficie de la pared, con tubo lineal fluorescente, 6 W - G5, flujo luminoso 155 lúmenes. [Ud]	7	55'26	386'82

Total parcial.....6.542'66€