

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***NAVE INDUSTRIAL DESTINADA A LA
FABRICACIÓN DE ANILLOS LAMINADOS***

DOCUMENTO 3- ANEXOS

Alumno/Alumna: Elorriaga Limia, Liher

Director/Directora: Uriarte Gallastegui, Irantzu

Curso: 2019-2020

Fecha: 16/02/2020

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DESCRIPCIÓN DE LA NAVE.....	1
3. CÁLCULO DE CUBIERTA Y COMBINACIONES	1
3.1. Cargas Permanentes	1
3.2. Cargas Variables.....	4
3.2.1. Sobrecarga de Uso.....	4
3.2.2. Sobrecarga de Nieve	5
3.2.3. Sobrecarga de Viento	6
4. COMBINACIONES DE CARGA.....	14
4.1. Variables	14
4.2. Acciones térmicas	20
5. ELECCIÓN DE GRÚAS PUENTE.....	21
5.1. Polipasto.....	21
5.2. Testero.....	22
5.3. Dimensionamiento de testeros	23
5.4. Dimensiones restantes	24
5.5. Reacciones por ruedas.....	25
5.6. Acciones del puente grúa	25
5.7. Documentación técnica	25
5.8. Clasificación de los aparatos de elevación	26
5.9. Condiciones de utilización	27
5.10. Condiciones de carga.....	28
5.11. Clasificación de los puente grúa	28
5.12. Coeficiente de mayoración dinámico	29
5.13. Fuerzas verticales	29
5.14. Fuerzas longitudinales.....	31
5.15. Fuerzas transversales	34
5.16. Situaciones posibles debidas al puente grúa	35

5.16.1. Situación 1	36
5.16.2. Situación 2.....	36
5.17. Cálculo de la viga carril	36
5.17.1. Programa de cálculo de la viga carril	40
5.17.1.1. Resultados.....	52
6. PREDIMENSIONAMIENTO MEDIANTE EL PROGRAMA DE CÁLCULO	60
6.1. Cálculo de correas	60
6.1.1. Correas de cubierta	60
6.1.2. Correas laterales	66
7. CYPE 3D.....	72
7.1. Pandeo	74
7.2. Coeficientes de pandeo.....	74
7.3. Flecha límite	77
7.4. Cargas	78
7.5. Estado Límite Último de las barras (E.L.U.)	80
7.5.1. Pilares.....	80
7.5.2. Vigas de los pórticos	105
7.5.3. Ménsula	127
7.5.4. Dintel delanteros.....	138
7.5.5. Vigas de atado traseros.....	153
7.5.6. Vigas de atado laterales	169
7.5.7. Vigas de atado superiores.....	185
8. UNIONES.....	209
9. CIMENTACIONES.....	214
10. SOLERA	216
11. RED DE SANEAMIENTO	217
12. SUMINISTRO DE AGUAS.....	225

1. Introducción

Este anexo sirve como justificación de las soluciones adoptadas, conteniendo las hipótesis de partida, los criterios y procedimientos de cálculo, así como los resultados finales, base del dimensionamiento o comprobación de los distintos elementos que constituyen el objeto del proyecto.

2. Descripción de la nave

La nave industrial es una estructura metálica, con una cubierta a dos aguas y una inclinación de 15°. Está compuesta por 13 pórticos transversales, de 30 metros de luz, 8 metros de altura libre y 12 metros de alto en cumbre.

La nave está formada por 12 vanos, es decir, 13 pórticos separados 5 metros entre sí.

Las dimensiones de la nave son 60 metros de largo, 30 metros de ancho y 12 metros de alto, con un total de 1800 m² construidos.

La nave va provista de dos grúas puente con 20 Tn de capacidad máxima para el manejo de las anillas entre maquinaria. Estas irán colocadas entre sí en paralelo.

3. Cálculo de cubierta y combinaciones

3.1. Cargas Permanentes

La carga permanente de la estructura está compuesta básicamente por el peso propio de todo el conjunto de los elementos estructurales. Es decir, para calcular el valor de las acciones que afectan a los elementos en estudio, se tendrá en cuenta el peso propio de todas las partes de la construcción: los cerramientos de la cubierta y de la fachada, las correas (tanto de cubierta como de los laterales), los pórticos (la suma de las vigas y los pilares), las vigas de atado entre pórticos, etc.

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

Para el cálculo de la cubierta se debe estudiar por un lado las cargas permanentes y las cargas variables.

Como carga permanente se considera el peso propio del cerramiento que ha sido elegido para la nave industrial.

Las cargas permanentes consideradas para el cálculo de la cubierta serán las debidas al peso propio del cerramiento de la cubierta de acuerdo al CTE DB SE-AE-3.

El cerramiento de la cubierta elegido es: Panel de Sándwich Prefabricado para Cubiertas ARVAL ONDATHERM 900 C.

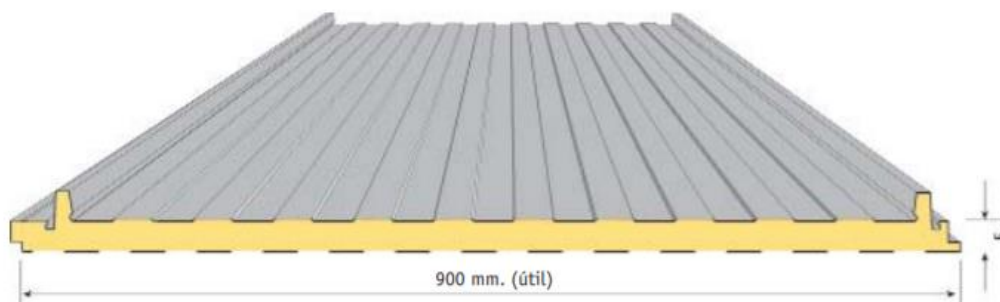


Figura 1. Cerramiento de cubierta escogido.

DATOS TÉCNICOS			
ESPESOR NOMINAL mm	TÉRMICO W/m ² K	MASA Kg/m ²	VOLUMEN EMPAQUETADO m ² /m ³
30	0,68	11,0	22
40	0,53	11,4	18
50	0,43	11,8	15
60	0,36	12,2	13
70	0,31	12,6	11
80	0,27	13,0	10
100	0,23	13,8	9
120	0,20	14,6	8
150	0,17	15,8	6

Figura 2. Características del panel.

TABLA DE UTILIZACIÓN		LUCES EN METROS							
SOPORTE	Espesor (mm)	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
<p>3 APOYOS</p>	30	226	185	135	89				
	40	255	214	166	114	74	55		
	50	284	247	186	135	94	75		
	80	404	384	295	234	186	144	113	94
	100			403	294	225	174	143	116
	120			419	330	254	212	175	142
	150			435	379	293	263	216	180
	200	Bajo consulta							

Figura 3. Esquema estático del panel.

El espesor nominal de la cubierta escogido será de 40 mm, con un espesor de chapa exterior de 0,6 mm e interior de 0,4 mm. El peso propio del panel será de 11,4 kg/m².

Para comprobar si el cerramiento elegido es válido se deben obtener todas las cargas de manera independiente, realizar las combinaciones correspondientes y una vez así poder saber si el panel escogido con anterioridad cumple con los requisitos de carga.

Para obtener el valor correcto de peso propio se debe descomponer el mismo en paralelo y perpendicular a la superficie de la cubierta.

En el plano perpendicular, se deberá realizar la siguiente operación:

$$q_{pp(\perp)} = 11,5 \frac{kg}{m^2} \cdot 0,00981 \frac{kN}{kg} \cdot \cos(15^\circ) = 0,109 \frac{kN}{m^2}$$

En el plano paralelo, se deberá realizar la siguiente operación:

$$q_{pp(\parallel)} = 11,5 \frac{kg}{m^2} \cdot 0,00981 \frac{kN}{kg} \cdot \sin(15^\circ) = 0,029 \frac{kN}{m^2}$$

3.2. Cargas Variables

3.2.1. Sobrecarga de Uso

En el apartado 3.1 del CTE DB SE-AE-5 se describe la sobrecarga de uso, el cual se obtendrá su valor a partir de la Tabla 3.1. Se entiende como sobrecarga de uso al peso de todo lo que puede perjudicar sobre el edificio por razón de su uso.

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

Figura 4. Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso.

La categoría de uso de la estructura es G1, ya que únicamente se podrá acceder a la cubierta para su conservación y se clasifican como cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado). La nota (7) de la tabla indica que la sobrecarga de uso no se considera concomitante con el resto de acciones variables.

Se obtiene el siguiente valor de sobrecarga de uso:

$$q_U = 0,4 \frac{kN}{m^2}$$

En el plano perpendicular, se deberá realizar la siguiente operación:

$$q_{U(\perp)} = 0,4 \cdot \cos(15) \cdot \cos(15) = 0,373 \frac{kN}{m^2}$$

En el plano paralelo, se deberá realizar la siguiente operación:

$$q_{U(\parallel)} = 0,4 \cdot \cos(15) \cdot \sin(15) = 0,1 \frac{kN}{m^2}$$

3.2.2. 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, o de la forma del edificio y de los intercambios térmicos en los parámetros exteriores.

Para obtener la carga de nieve se recurre al CTE DB SE-AE-11 y se obtiene de la siguiente forma:

$$q_N = \mu \cdot S_K$$

De la cual, sus valores se definen como:

- μ : coeficiente de forma de la cubierta.
- S_K : valor característico de la carga de nieve sobre el terreno horizontal.

Para cubiertas con una inclinación menor o igual que 30° el coeficiente de forma tiene el valor de 1.

Para el valor característico de la carga de nieve se observará la tabla 3.8 del CTE DB SE-AE. Al situarse la nave industrial en el municipio de Mungia, tendremos en cuenta el valor en la capital de Bilbao, $S_K = 0,3 \frac{kN}{m^2}$.

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

Figura 5. Tabla 3.8. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia.

En definitiva:

$$q_N = 0,3 \frac{kN}{m^2}$$

El valor tabulado de esta carga es el valor característico en proyección horizontal.

En el plano perpendicular, se deberá realizar la siguiente operación:

$$q_{N(\perp)} = 0,3 \cdot \cos(15) \cdot \cos(15) = 0,279 \frac{kN}{m^2}$$

En el plano paralelo, se deberá realizar la siguiente operación:

$$q_{N(\parallel)} = 0,3 \cdot \cos(15) \cdot \sin(15) = 0,075 \frac{kN}{m^2}$$

3.2.3. Sobrecarga de Viento

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

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

De la cual, sus valores se definen como:

- q_b : la presión dinámica del viento. Se obtienen los valores del CTE DB SE-AE 23.
- 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.
- C_p : el coeficiente de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento.

El valor de la presión dinámica es de 0,52 kN/m para la zona C, en la que se encuentra la localización de la nave. Para obtenerlo, se ha consultado el mapa de España para los valores de presión dinámica:

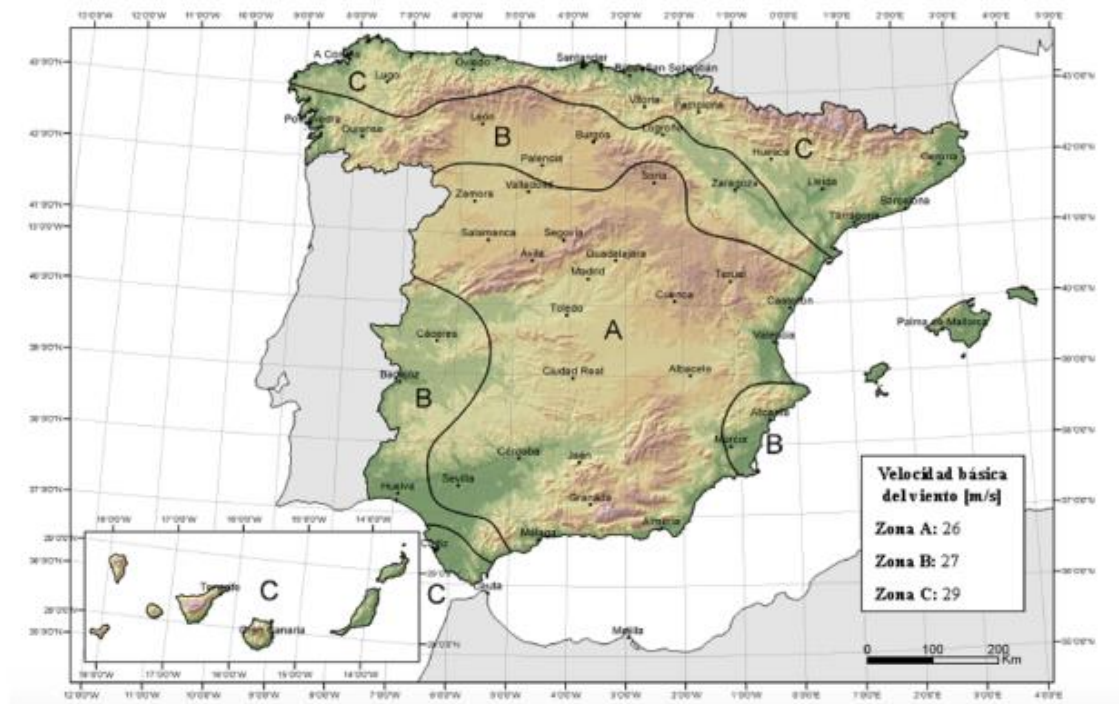


Figura 6. Mapa de España para los valores de presión dinámica.

El coeficiente de exposición tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Su valor se puede tomar de la tabla 3.4. del apartado “3.3.3. Coeficiente de exposición” de CTE DB SE-AE, siendo la altura del punto considerado la media respecto a la rasante media de la fachada a barlovento.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición C_e

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

Figura 7. Valores del coeficiente de exposición C_e .

La zona donde se ubicará la nave será un polígono industrial, por lo tanto, pertenecerá al grado de aspereza “IV Zona urbana en general, industrial o forestal”.

La nave tiene una altura de 12 metros, lo cual indica que tiene un valor de:

$$C_e = 1,9$$

El último coeficiente a calcular para obtener el valor de la acción del viento es el coeficiente eólico o de presión (C_p). Este coeficiente se calculará en función de la dirección del viento y la forma de la estructura.

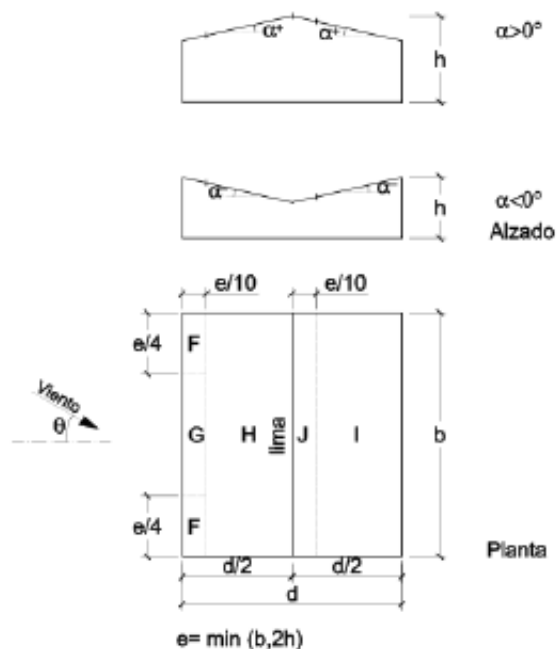
La nave se estudiará como una cubierta a dos aguas.

Para el cálculo del coeficiente de presión exterior de la nave, se debe acudir a la “Tabla D.6. Cubiertas a dos aguas”, y calcular los coeficientes distintos dependiendo de la dirección del viento.

La inclinación de la nave es de $\alpha = 15^\circ$.

El viento exterior en la cubierta será diferente, dependiendo de la zona en la que actúa el viento afecta más o menos. Se definen dos direcciones de viento: una longitudinal y otra transversal.

➤ Viento transversal



Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	≥ 10	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	≤ 1	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	≤ 1	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤ 1	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
-5°	≥ 10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	-0,6
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
30°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
45°	≥ 10	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
60°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,6	+0,0	+0,0
75°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
75°	≥ 10	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

Figura 8. Cubiertas a dos aguas con dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$.

Datos a tener en cuenta:

$$e = \min(b, 2h) = \min(60, 24) = 24 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = 6 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = 2,4 \text{ m}$$

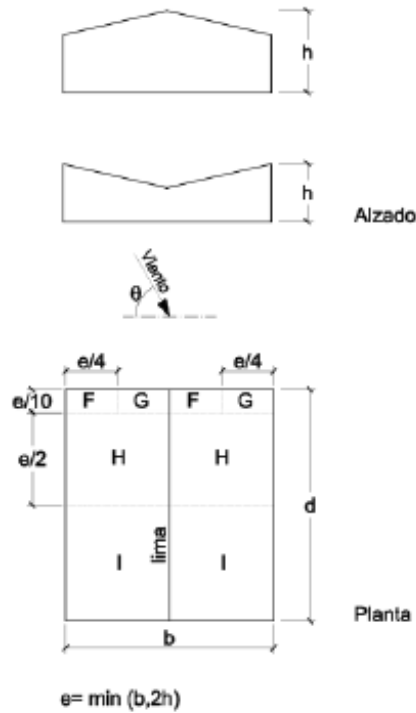
$$d = 30 \text{ m}$$

En la tabla de la Figura 8, A hace referencia al área de influencia del elemento considerado. Este valor será mayor que 10 m² para la cubierta, siempre teniendo sus dimensiones en cuenta. Para el caso de pendientes $\alpha = 15^\circ$ y un área de influencia mayor a 10 m² estos serán los valores obtenidos:

	F	G	H	I	J
C _p (SUCCIÓN)	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
C _p (PRESIÓN)	0,2	0,2	0,2	0	0

En la tabla se aprecia que el coeficiente de presión puede tener valores positivos y negativos. Esto, como bien se indica en la tabla, ocurre porque el viento actúa a presión como a succión.

➤ Viento longitudinal:



Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$			
		F	G	H	I
-45°	≥ 10	-1,4	-1,2	-1,0	-0,9
	≤ 1	-2,0	-2,0	-1,3	-1,2
-30°	≥ 10	-1,5	-1,2	-1,0	-0,9
	≤ 1	-2,1	-2,0	-1,3	-1,2
-15°	≥ 10	-1,9	-1,2	-0,8	-0,8
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-1,2
-5°	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	-0,6
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-1,2
5°	≥ 10	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6
	≤ 1	-2,2	-2,0	-1,2	-0,6
15°	≥ 10	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
	≤ 1	-2,0	-2,0	-1,2	-0,5
30°	≥ 10	-1,1	-1,4	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,2	-0,5
45°	≥ 10	-1,1	-1,4	-0,9	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,2	-0,5
60°	≥ 10	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,0	-0,5
75°	≥ 10	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5
	≤ 1	-1,5	-2,0	-1,0	-0,5

Figura 9. Cubiertas a dos aguas con dirección $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$

Datos a tener en cuenta:

$$e = \min(b, 2h) = \min(60, 24) = 24 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = 6 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = 2,4 \text{ m}$$

$$d = 30 \text{ m}$$

Al igual que en el caso anterior, en la tabla de la Figura 9, A hace referencia al área de influencia del elemento considerado. En este caso, el área será mayor que 10 m². Para el caso de pendientes $\alpha = 15^\circ$ y un área de influencia mayor a 10 m² estos serán los valores obtenidos:

	F	G	H	I
C _p	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5

Cuando el viento actúa longitudinalmente, se puede observar que éste únicamente actuará a succión. Por lo tanto, el coeficiente de presión adoptará valores negativos.

Al obtener todos los parámetros necesarios del viento exterior, se procede a calcular los valores:

- Viento transversal – Succión

$$q_{e,F} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,9) = -0,889 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{e,G} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,8) = -0,79 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{e,H} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,3) = -0,296 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{e,I} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,4) = -0,395 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{e,J} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot (-1) = -0,988 \frac{kN}{m^2}$$

- Viento transversal – Presión

$$q_{e,F} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot 0,2 = 0,198 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{e,G} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot 0,2 = 0,198 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{e,H} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot 0,2 = 0,198 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{e,I} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot 0 = 0 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{e,J} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot 0 = 0 \frac{kN}{m^2}$$

- Viento longitudinal – Succión

$$q_{e,F} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot (-1,3) = -1,284 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{e,G} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot (-1,3) = -1,284 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{e,H} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,6) = -0,593 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{e,I} = q_b \cdot C_e \cdot C_p = 0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,5) = -0,494 \frac{kN}{m^2}$$

4. Combinaciones de Carga.

4.1. Variables

Una vez que se han obtenido todas las cargas que actuarán de manera independiente en la cubierta de la estructura, se debe de realizar las combinaciones de carga correspondientes para así poder determinar la máxima que debe de aguantar el cerramiento a elegir.

Se combinarán sólo las cargas del plano perpendicular al cerramiento, debido a que éstas son más críticas que las del plano paralelo al faldón.

Para el cálculo, el uso del CTE DB SE es imprescindible. En él se indica que el valor de cálculo de los efectos de las acciones, correspondiente a una situación persistente o transitoria, se determinará mediante combinaciones de acciones a partir de la siguiente expresión:

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

Es decir, considerando la actuación simultánea de:

- a) todas las acciones permanentes, en el valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$).
- b) una acción variable cualquiera, en valor de cálculo ($\gamma_Q \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis.
- c) el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación ($\gamma_Q \cdot \Psi_0 \cdot Q_k$).

Los valores de los coeficientes parciales de seguridad para las acciones (γ) y de simultaneidad (Ψ) se obtendrán de las tablas adjuntas que aparecen en el CTE DB-SE, tablas 4.1 y 4.2 respectivamente. Habrá que tener especial cuidado dependiendo de si la situación es favorable o desfavorable.

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

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

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

Figura 10. Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones.

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

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

Figura 11. Coeficientes de simultaneidad (ψ).

Para el cálculo del cerramiento, se utilizará para cada dirección del viento el valor de la zona de mayor carga, y con él, se realizarán las pertinentes combinaciones de carga. Esto se debe a que en caso de aguantar la cubierta escogida con esos valores, al ser el resto de zonas de menor magnitud, aguantarán sin ningún problema.

Se recuerdan los valores de las cargas obtenidas en apartados anteriores:

$$q_{pp(\perp)} = 0,109 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{U(\perp)} = 0,373 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{N(\perp)} = 0,279 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{V,S} = -1,284 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{V,P} = 0,198 \frac{kN}{m^2}$$

Las combinaciones y sus respectivos resultados serían:

$$1) 0,8 \cdot q_{pp} + 1,5 \cdot q_{V,S} = 0,8 \cdot 0,109 + 1,5 \cdot (-1,284) = -1,839 \frac{kN}{m^2}$$

$$2) 1,35 \cdot q_{pp} + 1,5 \cdot q_U = 1,35 \cdot 0,109 + 1,5 \cdot 0,373 = 0,707 \frac{kN}{m^2}$$

$$3) 1,35 \cdot q_{pp} + 1,5 \cdot q_N + 1,5 \cdot 0,6 \cdot q_{V,P} = 1,35 \cdot 0,109 + 1,5 \cdot 0,279 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,198 =$$

$$= 0,744 \frac{kN}{m^2}$$

$$4) 1,35 \cdot q_{pp} + 1,5 \cdot q_{V,P} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot q_N = 1,35 \cdot 0,109 + 1,5 \cdot 0,198 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,279 =$$

$$= 0,653 \frac{kN}{m^2}$$

La primera combinación de carga sería la más crítica, con un valor de $1,839 \frac{kN}{m^2}$ actuando a presión.

$$1,839 \frac{kN}{m^2} = 187,46 \frac{kg}{m^2}$$

El cerramiento de Panel de Sándwich Prefabricado para Cubiertas ARVAL ONDATHERM 900 C tiene que tener capacidad de soportar $187,46 \frac{kg}{m^2}$.

En la Figura 3 observamos que con una distancia de 2 metros entre correas, el panel de cubierta puede soportar una capacidad de $214 \frac{kg}{m^2}$.

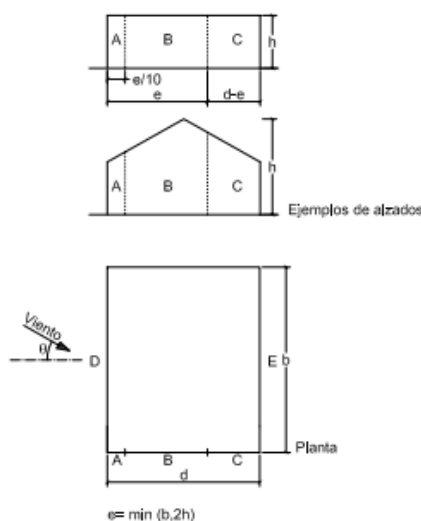
Para optimizar el espacio del faldón y dejar el mínimo espacio a cada extremo, se optará por una distancia entre correas de 1,5 metros. Por lo tanto, el faldón dispondrá de 10 huecos y 11 correas, dejando a cada lado 26,2 cm de distancia.

Una vez elegido cual será el cerramiento en la cubierta, se procede a estudiar el cerramiento lateral de la nave.

En este caso, sólo le afectará la carga variable del viento. El valor de la presión dinámica q_b permanecera siendo el mismo (ya que depende de la localización de la nave). En cambio, los demás coeficientes tendrán otro valor.

Para el coeficiente de exposición se coge como nuevas medidas la altura $h = 8\text{ m}$, obteniendo $C_e = 1,6$ (dato logrado mediante la Figura 7). Para el coeficiente de presión se recurre al CTE DB SE-AE 25, Tabla D.3 Paramentos verticales.

Tabla D.3 Paramentos verticales



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

Figura 12. Tabla D.3 Paramentos verticales.

Se obtiene como área de influencia, $A = 7m^2$.

Para elementos con área de influencia A , entre $1 m^2$ y $10 m^2$, el coeficiente de presión se puede obtener mediante la siguiente expresión:

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

Siendo:

- $c_{p,10}$: coeficiente de presión para elementos con un área de influencia $A \geq 10m^2$.
- $c_{p,1}$: coeficiente de presión para elementos con un área de influencia $A \leq 10m^2$.

➤ Viento transversal:

Se interpolará para $A \geq 10 m^2$ y un valor de $\frac{h}{d} = \frac{8}{30} = 0,267$.

$$C_{p,D} = 0,702$$

$$C_{p,E} = -0,305$$

Y para $A \leq 1m^2$

$$C_{p,D} = 1$$

$$C_{p,E} = -0,305$$

Por lo tanto para $A = 8m^2$:

$$C_{p,D} = 0,731$$

$$C_{p,E} = -0,305$$

➤ Viento longitudinal:

Se utilizará el mismo procedimiento, pero en otras zonas afectadas (A, B y C). Se tendrá un valor de $\frac{h}{d} = \frac{8}{60} = 0,133$.

Al ser este último $\leq 0,25$ los valores se cogerán directamente de la tabla, sin tener que interpolar para $A \geq 10m^2$.

$$C_{p,A} = -1,2$$

$$C_{p,B} = -0,8$$

$$C_{p,C} = -0,5$$

Y para $A \leq 1m^2$:

$$C_{p,A} = -1,4$$

$$C_{p,B} = -1,1$$

$$C_{p,C} = -0,5$$

Por lo tanto para $A = 8m^2$.

$$C_{p,A} = -1,219$$

$$C_{p,B} = -0,829$$

$$C_{p,C} = -0,5$$

- Viento Transversal:

Se utilizará el valor del coeficiente de presión más elevado para obtener el valor de carga de viento más crítica.

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

$$q_e = 0,52 \cdot 1,6 \cdot 0,731 = 0,608 \frac{kN}{m^2}$$

- Viento Longitudinal:

Se utilizará el valor del coeficiente de presión más elevado para obtener el valor de carga de viento más crítica.

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

$$q_e = 0,52 \cdot 1,6 \cdot (-1,219) = -1,014 \frac{kN}{m^2}$$

Al tener que soportar solo las cargas horizontales, no se combinan las diferentes cargas, ya que en esa dirección solo actúa el viento. Para asegurarnos que la cubierta lateral soporta la carga del viento se eleva la carga más crítica con el coeficiente de seguridad respectivo.

$$1,5 \cdot q_v = 1,5 \cdot (-1,014) = -1,521 \frac{kN}{m^2} \rightarrow 155,08 \frac{kg}{m^2}$$

El cerramiento elegido para la cubierta lateral también es válido.

$$155,08 \frac{kg}{m^2} < 255 \frac{kg}{m^2}$$

4.2. Acciones térmicas

Las deformaciones que se crean a partir de los cambios de temperatura producen acciones llamadas térmicas. En este caso, no se considerarán acciones térmicas debido a que la norma CTE DB SE-A dice en su apartado 3.4.1.3 en referencia a cargas térmicas que pueden no considerarse las acciones térmicas cuando se dispongan juntas de dilatación o cuando no existan elementos continuos de más de 40 metros de longitud. Este edificio industrial no dispone de ningún elemento continuo de más de 40 metros de longitud, por lo tanto, no necesita juntas de dilatación. En consecuencia, tampoco se tendría que considerar las acciones térmicas que se podrían dar.

5. Elección de grúas puente

5.1. Polipasto

Los modelos utilizados serán fabricados por la compañía de puentes grúa Jaso.

Se determinarán los polipastos adecuados según la norma FEM por el tipo de carga, promedio de marcha, capacidad de carga a elevar y disposición del cable.

Primero, se calcula el tiempo de marcha diario de los polipastos para determinar el tipo de carga. Con los valores de: tipo de carga, carga a elevar, velocidad de elevación, número de ramales, recorrido medio del gancho, ciclos de trabajo por hora y el tiempo de servicio por día, se calculará el modelo.

$$\text{Tiempo de marcha diario} = \frac{2 \cdot R_{\text{medio del gancho}} \cdot \text{Ciclos hora} \cdot \text{Tiempo trabajo por día}}{60 \cdot \text{Velocidad de elevación}}$$

Los dos puentes grúa utilizados para este proyecto tendrán las mismas características, por lo tanto, solo se calculará uno de ellos, sabiendo que el otro debería ser igual.

Se estipula una carga a elevar de 20.000 kg debido a que las solicitudes más desfavorables son las manipulaciones de anillos laminados de diámetros entorno a los 4 metros.

Tendrá una velocidad de elevación de 3 m/min y contará con 4 ramales.

En la fábrica se trabajará por 16 horas diarias con ciclos de trabajo de 2 por hora. El recorrido medio del gancho es de 6 metros.

$$\text{Tiempo de marcha diario} = \frac{2 \cdot 6 \text{ m} \cdot 2 \frac{\text{ciclos}}{\text{h}} \cdot 16 \frac{\text{h}}{\text{día}}}{60 \text{ min/h} \cdot 3 \text{ m/min}} = 2,13 \text{ h/día}$$

Siguiendo con la ecuación, se obtiene un tiempo de marcha diario de 2,13 horas. Por lo que se considera un estado de sollicitación ligero.

Las características de los polipastos seleccionados se encuentran en la siguiente tabla:

Capacidad [kg]	20.000
Tipo	DX200H041
Grupo (FEM)	M4
Velocidad [m/min]	4/1,3
Recorrido máximo del gancho [m]	18
Número de ramales	4/1
Potencia del motor (50Hz) [kW]	15/5

El polipasto que utilizará el puente grúa será un polipasto birraíl. Este tipo de polipastos son perfectos para conseguir la mejor combinación de estabilidad, equilibrio y recorrido de gancho. Con un bastidor formado por dos testeros en forma de cajón tubular mecanizados después del ensamble para asegurar la perfecta alineación de las ruedas.

5.2. Testero

El tipo de grúa seleccionado necesita dos testeros para su correcto funcionamiento. Cada testero está equipado con:

- Un motor-reductor con engranajes helicoidales en constante baño de aceite girando sobre rodamientos.
- Las coronas y piñones están fabricados con acero de cementación consiguiendo reductores de reducidas dimensiones y alto rendimiento.
- Dos ruedas que giran sobre rodamientos, una de las cuales es accionada en ataque directo por el eje de salida de reductor.

Están contruidos con perfiles estructurales o con forma de cajón soldado y mecanizados después del ensamble para asegurar la perfecta alineación de las ruedas. Dos topes de caucho van montados en los extremos.

5.3. Dimensionamiento de testers

Para la elección de los modelos de testers, se tendrá en cuenta la luz de la nave, la capacidad que pueda soportar la grúa y el tipo de raíl que tendrá. En éste caso, los testers que se escogieran serán para grúas birraíles, con la luz de 14 metros y la capacidad de 20.000 kg. Con estos datos se obtiene el número de referencia: 315325.

Sabiendo el número de referencia citado en el párrafo anterior, se obtienen las dimensiones que deberán tener los testers.

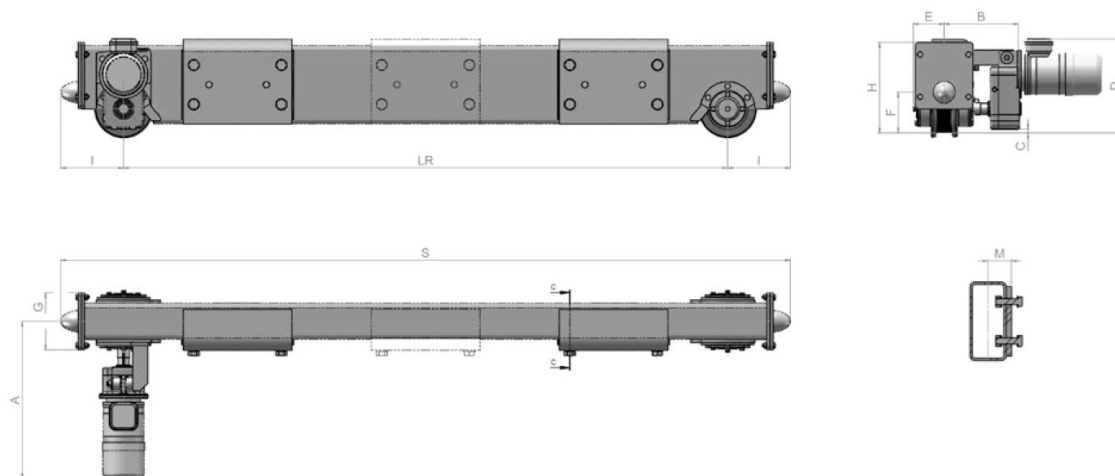


Figura 13. Plano de testero.

Rueda Ø	A	B	C	D	E	F	G	H	I	LR	S	J	K	M
315	770	340	60	491	164	227,5	295	437,5	330	3250	3910	40	30	125,5

*Todas las medidas estarán en mm.

5.4. Dimensiones restantes

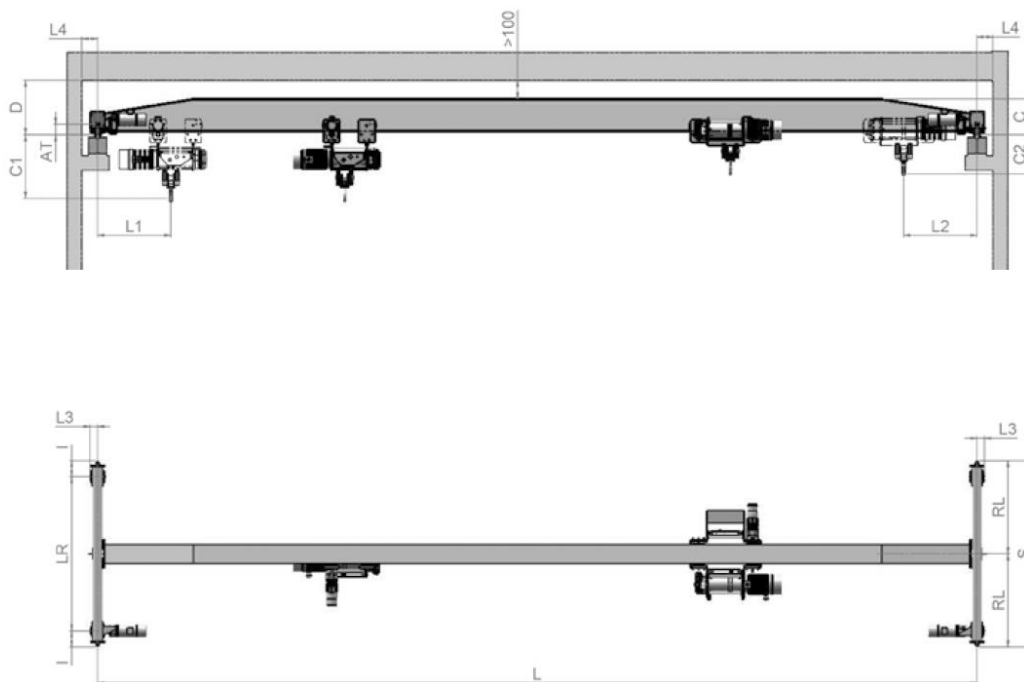


Figura 14. Croquis de puente grúa.

Capacidad (kg)	Luz (m)	Tipo Polipasto	Velocidad Polipasto (m/min)	Recorrido (m)
20	>10,5 – 14,5	DX200H0641	4/1,3	6

L1	L2	L3	L4	AT	C	C1	C2	D	I	LR	RL	S
1290	850	160	200	228	1033	1684	860	1133	330	2000	1330	2660

*Todas las medidas de la segunda tabla estarán en mm.

5.5. Reacciones por ruedas

Dependiendo de la capacidad de carga, la luz y el puente grúa elegido, JASO despliega una tabla de valores para la estimación de las reacciones por las ruedas de la grúa.

En el caso específico del puente grúa utilizado (20.000 kg de capacidad de carga y 14 metros de luz) se obtienen los siguientes datos:

- Reacción Máxima: 11.325 kg.
- Reacción Mínima: 2.220 kg.

5.6. Acciones del puente grúa

Una vez que se hayan obtenido todos los datos necesarios de la grúa puente mediante el catálogo del fabricante, se ejecutará un diagnóstico ocasionado por el sistema de traslación del elemento estudiado en el conjunto de la infraestructura. De ésta manera, se debe de especificar las distintas consideraciones y cálculos pertinentes estimados.

5.7. Documentación técnica

Puente grúa birraíl del catálogo de puentes grúa estándar	Jaso
Nº de referencia	315325
Luz entre carriles	14 metros
Capacidad de carga	20.000 kg
Distancia entre ruedas	3250 mm = 3,25 m
Reacción máxima vertical por cada rueda	11.325 kg = 111,1 kN
Reacción mínima vertical por cada rueda	2.220 kg = 21,78 kN
Velocidad máxima puente	1,3 m/min
Velocidad máxima testero	4 m/min

5.8. Clasificación de los aparatos de elevación

Dependiendo la utilidad que tendrá la grúa, se deberá observar la clase de utilización, el estado de carga y el grupo al que pertenece. Todo ello se llevará a cabo mediante el documento UNE 76-201-88.

El puente grúa que se utilizara para la nave diseñada se denomina: Puente grúa de taller con gancho.

Denominación	Condiciones de utilización	Condiciones de carga	Grupo
Puente grúa de central	A	1-2	1-2
Puente grúa de montaje y desmontaje para sala de máquinas	A	2-3	2-3
Puente grúa de almacén	B-C	2-3	3-4-5-6
Puente grúa de taller con gancho	B	2-3	3-4
Puente grúa con cuchara	B-C-D	4	5-6-7-8

Figura 15. Clasificación de los aparatos de elevación.

Según se aprecia en la Figura 15, la grúa puente a calcular se clasificará de la siguiente manera:

Condiciones de utilización	B
Condiciones de carga	2-3
Grupo	3-4

5.9. Condiciones de utilización

Siguiendo con el documento UNE 76-201-88, se obtiene la estimación aproximada para el caso expuesto.

Condiciones de utilización	Número convencional de ciclos de maniobra, Nm	Observaciones
U ₀	1,6 × 10 ⁴	Utilización ocasional
U ₁	3,2 × 10 ⁴	
U ₂	6,3 × 10 ⁴	
U ₃	1,25 × 10 ⁵	
U ₄	2,5 × 10 ⁵	Utilización regular en servicio ligero
U ₅	5 × 10 ⁵	Utilización regular en servicio intermitente
U ₆	1 × 10 ⁶	Utilización regular en servicio intensivo
U ₇	2 × 10 ⁶	Utilización intensiva
U ₈	4 × 10 ⁶	
U ₉	Más de 4 × 10 ⁶	

Figura 16. Condiciones de utilización.

Se estima que la utilización se dará de una forma regular en servicio intermitente, con momentos de paro. Por lo tanto, la condición de utilización será de tipo U₅.

5.10. Condiciones de carga

Para el caso concreto de la grúa puente a calcular, se considera un estado de carga 3 (Q3 – Pesado).

Condiciones de carga	Parámetro del espectro, K_Q	Observaciones
Q1 – Ligero	0,125	Aparato que levanta raramente la carga útil y corrientemente cargas muy pequeñas.
Q2 – Moderado	0,25	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga útil y corrientemente cargas pequeñas.
Q3 – Pesado	0,50	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga útil y corrientemente cargas medianas.
Q4 – Muy pesado	1,00	Aparato que corrientemente maneja cargas próximas a la carga útil

Figura 17. Condiciones de carga.

5.11. Clasificación de los puente grúa

Mediante la siguiente tabla del documento UNE 76-201-88 y las condiciones de carga y utilización nombradas anteriormente, se obtiene la clase de puente grúa. En este caso, el puente grúa será de clase 6.

Condiciones de carga	Condiciones de utilización									
	U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9
Q1 – Ligero	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8
Q2 – Moderado	1	1	2	3	4	5	6	7	8	8
Q3 – Pesado	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8
Q4 – Muy Pesado	2	3	4	5	6	7	8	8	8	8

Figura 18. Clasificación de los puente grúa.

5.12. Coeficiente de mayoración dinámico

Una vez conseguido la clase de puente grúa, gracias al documento UNE 76-201-88 se obtiene el valor del coeficiente dinámico vertical.

Grupo	Viga carrilera		Soportes	
	máx	red	máx	red
1 y 2	1,1	1,1	1,0	1,0
3 y 4	1,15	1,1	1,0	1,0
5 y 6	1,25	1,1	1,1	1,0
7 y 8	1,35	1,1	1,2	1,0

Figura 19. Coeficiente dinámico vertical.

Para el caso específico de este proyecto, se ve que los datos a utilizar para las vigas carril es 1,25 y para el soporte pilar 1,1.

5.13. Fuerzas verticales

Las reacciones que aparecen cuando el puente esta en movimiento se determinan gracias a las reacciones estáticas correspondientes, obtenidas en el apartado 5.5. *reacciones por ruedas*. Estas se multiplicarán por los coeficientes dinámicos obtenidos en el apartado anterior.

Para calcular estas fuerzas, se deben tomar las consideraciones pertinentes que se dictan en la normativa de grúas puente (UNE 76-201-88):

$$V_d = \varphi \cdot V$$

Siendo:

V_d : reacción vertical dinámica.

φ : coeficiente de efectos dinámicos.

V : reacción vertical estática.

Se calculan las fuerzas que actuarán en la viga carril:

$$F_{vertical_{max}}: 1,25 \cdot 2 \cdot 111,1 \text{ kN} = 277,75 \text{ kN}$$

$$F_{vertical_{min}}: 1,25 \cdot 2 \cdot 21,78 \text{ kN} = 54,45 \text{ kN}$$

Se calculan las fuerzas que actuarán en el pilar:

$$F_{vertical_{max}}: 1,1 \cdot 2 \cdot 111,1 \text{ kN} = 244,42 \text{ kN}$$

$$F_{vertical_{min}}: 1,1 \cdot 2 \cdot 21,78 \text{ kN} = 47,92 \text{ kN}$$

En las ecuaciones de calculo expuestas se aprecia que existe un multiplicador de valor 2. Esto se debe al número de ruedas que actuan al mismo tiempo.

Éstas fuerzas afectan a la estructura de la nave y sus elementos, por lo tanto se tendrán en cuenta para el cálculo las cargas verticales que actuan sobre los pilares.

Debido a la simetría de la figura, y que las reacciones calculadas aparecen cuando el puente se encuentra situado en un extremo, solo se ejecutara el cálculo considerandolo en un extremo. Se puede obviar la realización de la adversa.

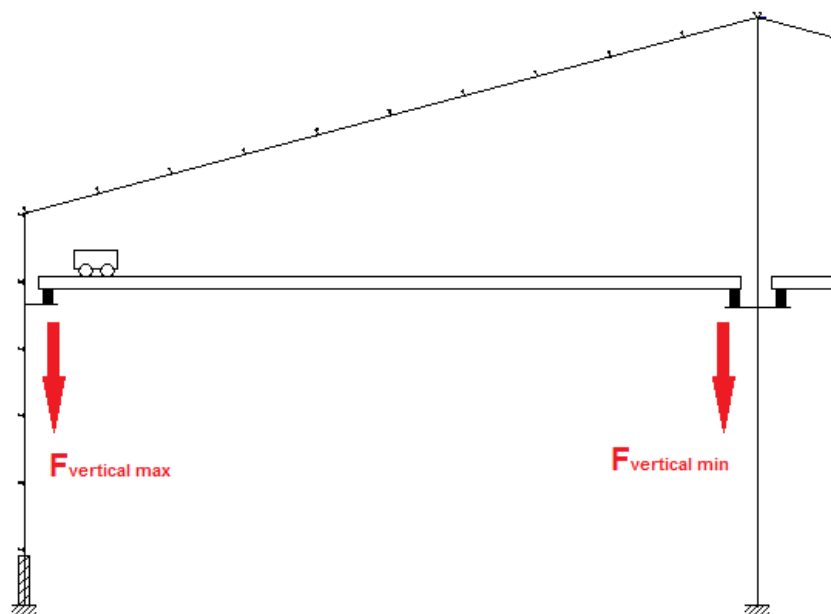


Figura 20. Esquema de fuerzas verticales.

5.14. Fuerzas longitudinales

Las fuerzas longitudinales aparecen debido al movimiento generado de la viga puente a lo largo de la nave industrial.

Para el siguiente cálculo se tendrá en cuenta la normativa de grúas puente (UNE 76-201-88).

La aceleración o el frenado del movimiento de traslación del puente crea las acciones longitudinales que se aplican a las cabezas de los carriles. Estas fuerzas horizontales se calcularán en función de las acciones máximas de aceleración o deceleración que se produzcan en servicio normal.

Los valores de las aceleraciones y deceleraciones deberán ser dadas por el constructor de la grúa o impuestos por el usuario, en función de la velocidad del movimiento y de las tres siguientes condiciones:

1. Aparatos de velocidad lenta y aparatos de velocidad media con grandes recorridos.
2. Aparatos de velocidad media y rápida de aplicación corriente.
3. Aparatos de velocidad rápida con fuertes aceleraciones.

Velocidad m/s	1 Velocidad lenta y media con gran recorrido		2 Velocidad media y rápida (aplicaciones corrientes)		3 Velocidad rápida con fuertes aceleraciones	
	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s ²	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s ²	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s ²
4,00			8,0	0,50	6,0	0,67
3,15			7,1	0,44	5,4	0,58
2,50			6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,45
1,00	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	5,2	0,12	3,2	0,19		
0,40	4,1	0,098	2,5	0,16		
0,25	3,2	0,078				
0,16	2,5	0,064				

Figura 21. Valores medios de las aceleraciones y deceleraciones.

El valor de la resultante de las reacciones longitudinales de aceleración de un puente grúa estará limitado por la adherencia entre las ruedas motrices y los carriles.

$$\sum H_{lmax} = (Q + C + P) \cdot \left(\omega + \frac{2 \cdot j_p}{g} \right) \leq (Q + C + P) \cdot f \cdot k_p$$

De ésta expresión se deduce la condición para la aceptación y estudio de la fuerza estimada:

$$F_{LONG} = (Q + C + P) \cdot \left(\frac{2 \cdot j_p}{g} \right) \leq (Q + C + P) \cdot f \cdot k_p$$

Siendo:

Q : carga.

P : puente.

C : carro.

j_p : aceleración media (obtenida en la tabla de la *Figura 21*).

f : coeficiente de adherencia (siendo $f = 0,2$ en caminos de rodadura secos).

Para obtener el valor j_p , se considera:

- La grúa puente es de velocidad lenta-media con gran recorrido.
- La velocidad máxima es de $0,0217 \text{ m/s}$. Como es una velocidad demasiado baja, no aparece en la tabla de la *Figura 21*. Se tomará como valor utilizado para la ecuación el más bajo de la tabla, $0,16 \text{ m/s}$. La velocidad de aceleración media, por lo tanto, será de $0,064 \text{ m/s}^2$.

Para obtener el valor de k_p :

$$k_p = \frac{N^{\circ} \text{ de ruedas motrices}}{N^{\circ} \text{ total de ruedas}} = \frac{2}{4} = 0,5$$

Con todos los datos conseguidos, se calcularán los valores de fuerzas longitudinales:

- $(Q + C + P) \cdot \left(\frac{2 \cdot j_p}{g}\right) = (1,1 \cdot 2 \cdot 111,1 \text{ kN} + 1,1 \cdot 2 \cdot 21,78) \cdot \frac{2 \cdot 0,064 \text{ m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = 3,814 \text{ kN}$
- $(Q + C + P) \cdot f \cdot k_p = (1,1 \cdot 2 \cdot 111,1 \text{ kN} + 1,1 \cdot 2 \cdot 21,78) \cdot 0,2 \cdot 0,5 = 29,234 \text{ kN}$

$$3,814 \text{ kN} \leq 29,234 \text{ kN} \rightarrow \text{Se cumple } (Q + C + P) \cdot \left(\frac{2 \cdot j_p}{g}\right) \leq (Q + C + P) \cdot f \cdot k_p$$

Se posee la capacidad para elaborar la instrucción de las solicitaciones ejercidas por el puente grúa sobre el conjunto de la estructura.

Las fuerzas longitudinales máximas y mínimas serían las siguientes:

$$F_{\text{longitudinal}_{max}} = F_{\text{vertical}_{max}} \cdot \frac{2 \cdot j_p}{g} = 277,75 \text{ kN} \cdot \frac{2 \cdot 0,064 \text{ m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = 3,624 \text{ kN}$$

$$F_{\text{longitudinal}_{min}} = F_{\text{vertical}_{min}} \cdot \frac{2 \cdot j_p}{g} = 54,45 \text{ kN} \cdot \frac{2 \cdot 0,064 \text{ m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = 0,710 \text{ kN}$$

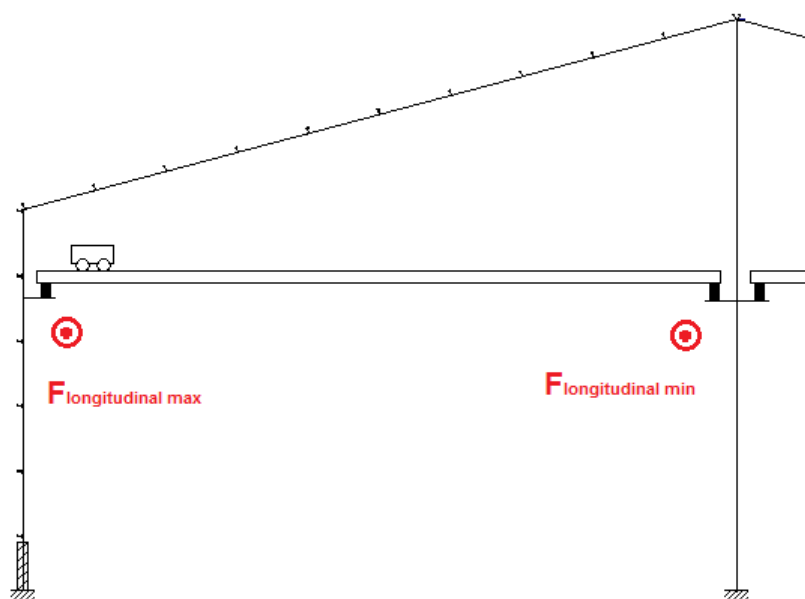


Figura 22. Esquema de fuerzas longitudinales.

5.15. Fuerzas transversales

Las fuerzas transversales se originan debido al movimiento del carro y la carga transportada.

Mediante las distintas disposiciones determinadas en el documento UNE 76-201-88 se deducirán las fuerzas transversales ejercidas por el puente grúa.

Debido a la adherencia entre las ruedas motrices del carro y los carriles de la viga, el valor de la fuerza total de aceleración estará limitada.

$$F_{TRANS} = (Q + C) \cdot \frac{2 \cdot j_p}{g} \leq (Q + C) \cdot f \cdot k_p$$

La mayoría de parámetros tienen el mismo valor que en el cálculo del apartado anterior (5.14. Fuerzas longitudinales). En este caso, los únicos valores nuevos serían el peso del carro y el puente, junto con las acciones de las ruedas.

En este caso, al tener que levantar cargas de máximo 20 toneladas la fuerza de elevación se considera 196,2 kN. Y sabiendo este dato y que la luz será de 14 metros se obtiene una C de 9,3 toneladas, o lo que es lo mismo, 91,233 kN.

Por lo tanto, la expresión quedaría así:

$$(Q + C) = 196,2 \text{ kN} + 91,233 \text{ kN} = 287,43 \text{ kN}$$

Y volviendo a la ecuación anterior:

$$F_{TRANS} = 287,43 \text{ kN} \cdot \frac{2 \cdot 0,064 \text{ m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} \leq 287,43 \text{ kN} \cdot 0,2 \cdot 0,5$$

$$F_{TRANS} = 3,75 \text{ kN} \leq 28,743 \text{ kN}$$

Se aprecia como la ecuación es correcta y se cumple la condición.

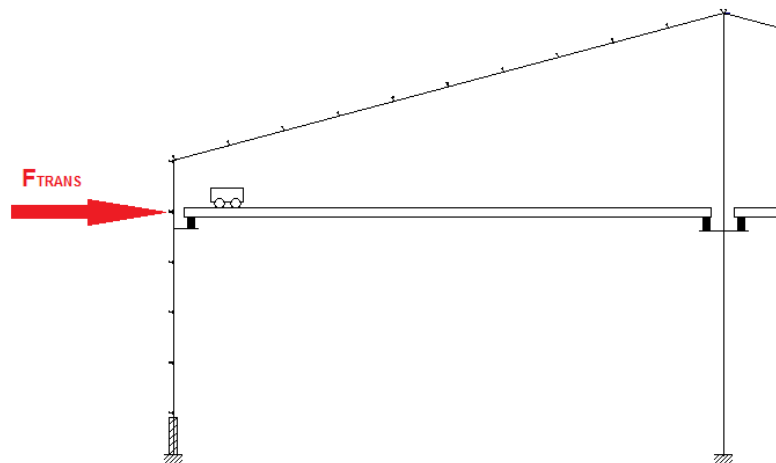


Figura 23. Esquema de fuerzas transversales.

5.16. Situaciones posibles debidas al puente grúa

Se deben considerar las dos disposiciones probables del elemento estudiado para estimar con certeza las posibles consecuencias.

Se establece solo el movimiento de un elemento en cada situación. El carro y el puente nunca se encontrarán en movimiento al mismo tiempo. Cuando se produzca el movimiento del carro, el puente se encontrará en estado estacionario y viceversa.

Las fuerzas a considerar sobre la viga carril son las siguientes:

- Verticales: producidas por el peso propio de la viga carril y de las fuerzas verticales.
- Transversales: producidas por el frenado del carro.
- Longitudinales: producidas por el frenado del puente grúa.

Las fuerzas a considerar sobre los pilares del pórtico (soportes) son:

- Verticales: producidas por el peso propio de la viga carril y de las fuerzas originadas verticalmente.
- Transversales: producidas por el frenado del carro.

Las fuerzas sobre el entramado lateral son:

- Longitudinales: debidas al frenado del puente grúa.

Solo existen dos situaciones:

Situación 1: se da cuando el puente grúa está en movimiento y el carro está estacionado.

Situación 2: se da cuando el carro se desplaza y el puente grúa esta estático.

5.16.1. Situación 1

El puente está en movimiento y el carro estacionado. Solo existirán fuerzas verticales y longitudinales. No existirán fuerzas transversales debido a que el carro está quieto.

Las fuerzas verticales se originan debido al peso de la carga y de los elementos que componen el puente. Las fuerzas longitudinales serán causa del frenado del puente.

Fuerzas verticales (en el pilar):

- $F_{Vmax} = 244,42 \text{ kN}$
- $F_{Vmin} = 47,92 \text{ kN}$

Fuerzas longitudinales:

- $F_{Lmax} = 3,189 \text{ kN}$
- $F_{Lmax} = 0,625 \text{ kN}$

5.16.2. Situación 2

El carro está en movimiento y el puente estático. Solo existirán fuerzas verticales y transversales. No habrá fuerzas longitudinales debido a que el puente no se moverá.

Las fuerzas transversales serán originadas debido al frenado del carro, las fuerzas verticales por los pesos propios de los elementos.

Fuerzas verticales (en el pilar):

- $F_{Vmax} = 244,42 \text{ kN}$
- $F_{Vmin} = 47,92 \text{ kN}$

Fuerzas transversales:

- $F_{TRANS} = 3,75 \text{ kN}$

5.17. Cálculo de la viga carril

Para el cálculo de la viga carril, se considerarán las fuerzas verticales producidas por cada rueda debido al peso del puente grúa con la carga máxima y la fuerza horizontal transversal originada por el frenado y aceleración del carro (situación 2).

La viga carril se comportará como una viga continua a lo largo de 7 vanos, es decir 35 metros.

La grúa es de tipo birraíl con una capacidad de 20 toneladas, una luz de 14 metros y dispuesta a una altura de 6 metros.

Datos a considerar para el cálculo de la viga carril:

- Capacidad del puente grúa: 20 Tn.
- Distancia entre ruedas: 3.250 mm = 3,25 m.
- Reacciones por rueda:

$$R_{max} = 11.325 \text{ kg} = 111,1 \text{ kN}$$

$$R_{min} = 2.220 \text{ kg} = 21,78 \text{ kN}$$

- Coeficiente de mayoración dinámico de la viga carril es 1,25.
- Como la carga vertical es variable, para mayor seguridad se utilizará un coeficiente de seguridad de valor: 1,5.

La fuerza vertical producida por cada rueda sobre la viga carril teniendo en cuenta los valores de los coeficientes dinámicos y de seguridad serían los siguientes:

$$F_{Vmax} = 1,25 \cdot 1,5 \cdot 111,1 \text{ kN} = 208,31 \text{ kN}$$

$$F_{Vmin} = 1,25 \cdot 1,5 \cdot 21,78 \text{ kN} = 40,84 \text{ kN}$$

La fuerza transversal producida por el frenado del carro mayorada con el coeficiente de seguridad tendrá el siguiente valor:

$$F_{TRANS} = 1,5 \cdot 3,75 \text{ kN} = 5,625 \text{ kN}$$

Se dimensionará a flexión como una viga continua para un puente grúa con los datos mencionados anteriormente. La limitación de la flecha es de L/1000.

En este caso, se tiene una viga carril continua de siete vanos de igual luz. En la figura siguiente se obtienen los valores de los momentos flectores y coeficientes para el dimensionado de vigas carriles de este tipo.

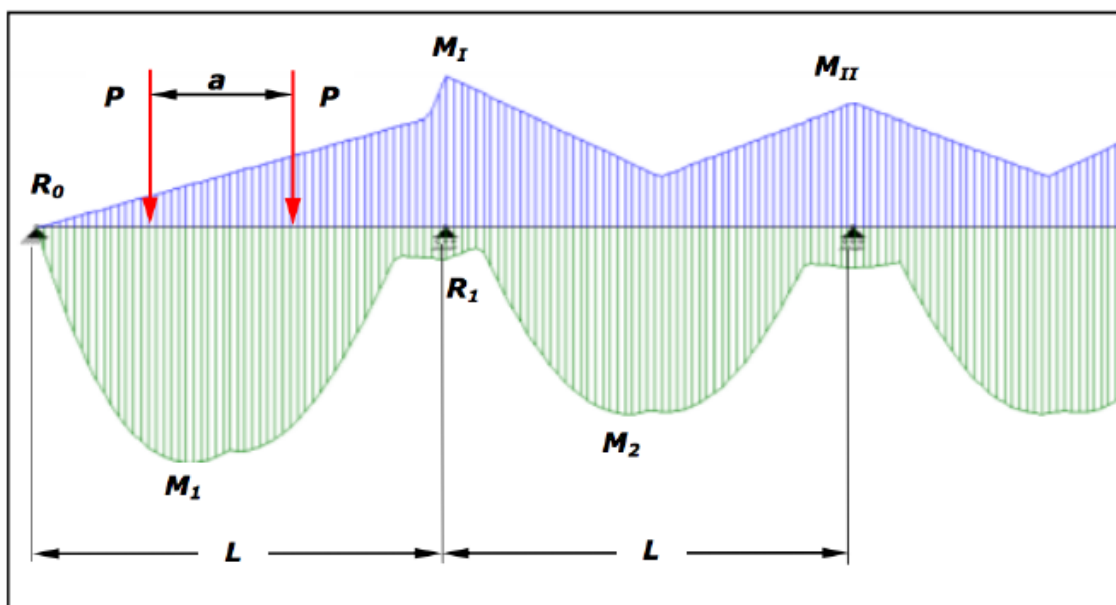


Figura 24. Envoltente de momentos flectores para n vanos de igual longitud.

a/L	$M_1 = k_1 PL$	$M_2 = k_2 PL$	$M_I = k_3 PL$	$M_{II} = k_3 PL$	$R_5 = k_4 P$	$R_1 = k_6 P$	L/750	L/1000
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	$I_{min} = k_7 PL^2$	
							k_7	k_7
0	0,409	0,346	0,206	0,172	2	2,013	10,50	14,00
0,05	0,386	0,322	0,205	0,170	1,937	2,011	10,46	13,95
0,10	0,364	0,299	0,204	0,169	1,873	2,004	10,33	13,77
0,15	0,343	0,278	0,200	0,165	1,811	1,993	10,12	13,49
0,20	0,323	0,259	0,197	0,163	1,749	1,979	9,84	13,12
0,25	0,304	0,243	0,189	0,157	1,687	1,960	9,49	12,65
0,30	0,287	0,227	0,186	0,152	1,627	1,937	9,07	12,10
0,35	0,271	0,214	0,177	0,145	1,568	1,911	8,60	11,47
0,40	0,255	0,201	0,171	0,138	1,510	1,881	8,08	10,78
0,45	0,242	0,190	0,158	0,140	1,454	1,847	7,52	10,02
0,50	0,229	0,181	0,160	0,154	1,400	1,810	6,91	9,22
0,55	0,218	0,172	0,164	0,156	1,347	1,770	6,28	8,37
0,60	0,207	0,165	0,172	0,165	1,297	1,728	5,63	7,51
0,65	0,199	0,160	0,174	0,166	1,249	1,682	5,00	6,66
0,70	0,191	0,155	0,178	0,171	1,204	1,634	4,44	5,92
0,75	0,185	0,151	0,177	0,171	1,162	1,583	4,05	5,40
0,80	0,18	0,148	0,182	0,171	1,123	1,530	3,80	5,07
0,85	0,177	0,146	0,177	0,169	1,087	1,474	3,65	4,86
0,90	0,174	0,145	0,174	0,168	1,054	1,417	3,57	4,77
0,95	0,173	0,145	0,174	0,164	1,025	1,358	3,57	4,76
1	0,173	0,145	0,174	0,161	1	1,297	3,62	4,83

M_1, M_2, M_I y M_{II} se obtienen en mkN si P se expresa en kN y L en m .
 R_0 y R_1 se obtienen en kN cuando P se expresa en kN .
 I_{min} se obtiene en cm^4 si P se expresa en kN y L en m .

Figura 25. Coeficientes para el dimensionado de vigas carril de n vanos de igual luz.

$$\frac{a}{L} = \frac{3,25 \text{ m}}{5 \text{ m}} = 0,65$$

$$P = 1,25 \cdot 1,5 \cdot 111,1 \text{ kN} = 208,31 \text{ kN}$$

$$k_1 = 0,199 \rightarrow M_1 = k_1 \cdot P \cdot L = 0,199 \cdot 208,31 \text{ kN} \cdot 5 \text{ m} = 207,27 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$k_7 = 5,00 \rightarrow I_{min} = k_7 \cdot P \cdot L^2 = 5,00 \cdot 208,31 \text{ kN} \cdot (5\text{m})^2 = 26.039,06 \text{ cm}^4$$

Se comprueba que los momentos flectores máximos se dan en el primer vano.

En un catálogo de perfiles laminados se obtiene que un perfil apropiado es el HEB 320.

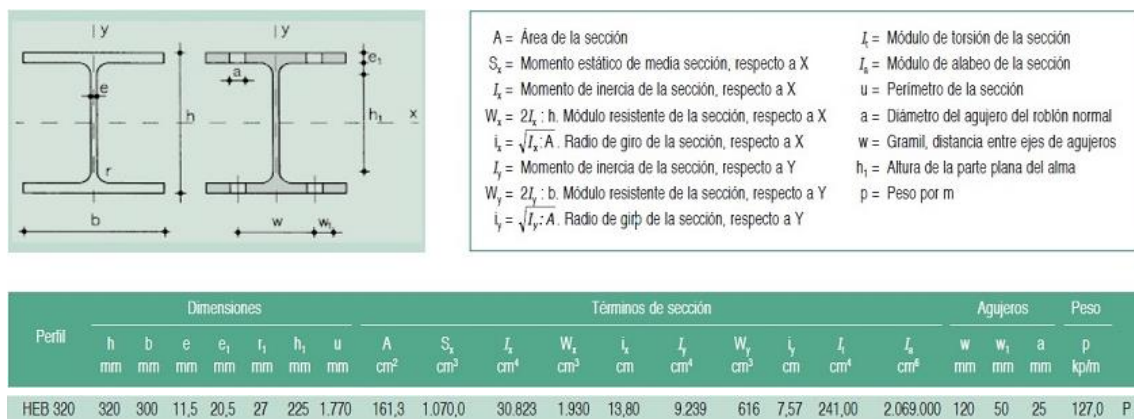


Figura 26. Prontuario HEB 320

Las flechas máximas admisibles son las siguientes:

- La flecha vertical en el centro del vano es de L/750 debido a las reacciones máximas por rueda.
- La flecha horizontal que provocaría que la viga se saliese de su plano, impidiendo la circulación del puente grúa, es de L/1000.

Flecha máxima vertical y horizontal

Se aplicará el principio de superposición, sumando las flechas provocadas por la reacción vertical del puente grúa en su posición más perjudicial y la provocada por el peso propio de la viga carril.

$$\text{Flecha vertical admisible} = \frac{L}{750} = \frac{5000}{750} = 6,67 \text{ mm}$$

En este caso solo se tendrá en cuenta la carga transversal de frenado del carro:

$$Flecha\ horizontal\ admisible = \frac{L}{1000} = \frac{5000}{1000} = 5\ mm$$

5.17.1. Programa de cálculo de la viga carril

Para el cálculo de la viga carril, se ha utilizado el programa informático CRANEWAY. Este programa se utiliza para realizar cálculos de vigas carril para puentes grúa según las normas EN 1993-6, DIN 4132 y DIN 18800.

Es importante saber que datos se utilizarán para el cálculo de la viga carril antes de empezar a utilizar el programa, ya que los cálculos se dan a partir de los datos introducidos en él.

Se ha seleccionado un perfil metálico HEB 320 para la viga junto con SA 75 para la guía de las ruedas. El material del que se componen será un acero S 275.

Propiedades de la sección:

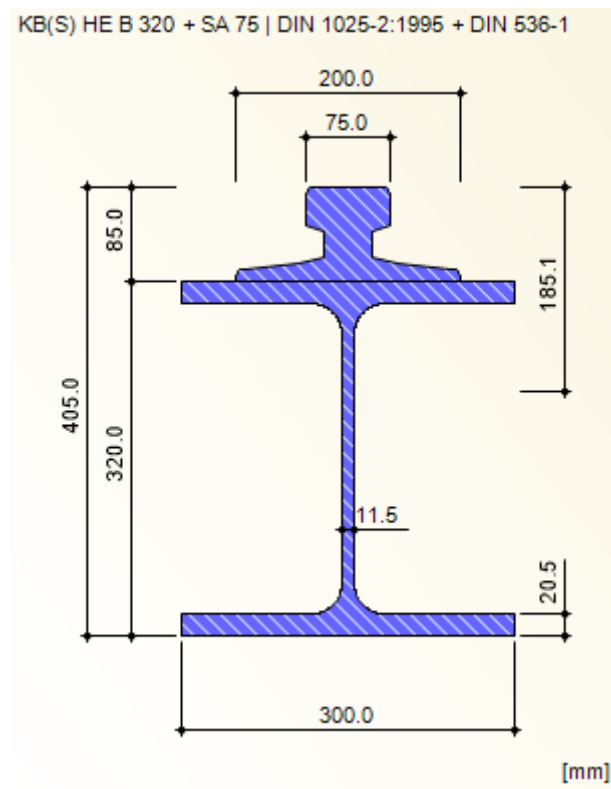


Figura 27. Perfil de la viga carril.

Propiedad de la sección	Símbolo	Valor	Unidad
Canto	h	320.0	mm
Ancho	b	300.0	mm
Espesor de alma	t _w	11.5	mm
Espesor de ala	t _f	20.5	mm
Radio de empalme de raíz	r	27.0	mm
Área de la sección	A	161.00	cm ²
Área de cortante	A _y	102.48	cm ²
Área de cortante	A _z	32.08	cm ²
Área de cortante según EC 3	A _{v,y}	127.43	cm ²
Área de cortante según EC 3	A _{v,z}	51.43	cm ²
Área del alma	A _{alma}	32.10	cm ²
Área de cortante plástico	A _{pl,y}	123.00	cm ²
Área de cortante plástico	A _{pl,z}	34.44	cm ²
Momento de inercia	I _y	30820.00	cm ⁴
Momento de inercia	I _z	9240.00	cm ⁴
Radio de giro determinante	i _y	138.0	mm
Radio de giro determinante	i _z	75.7	mm
Radio de giro polar	i _p	157.4	mm
Radio de giro del ala con 1/5 del área del alma	i _{zg}	80.6	mm
Volumen	V	16100.00	cm ³ /m
Peso	p	126.4	kg/m
Superficie	A _{superf}	1.770	m ² /m
Factor de sección	A _m /V	109.938	1/m
Módulo de torsión	I _t	226.00	cm ⁴
Constante de alabeo	I _ω	2.069E+06	cm ⁶
Módulo resistente elástico	W _y	1930.00	cm ³
Módulo resistente elástico	W _z	616.00	cm ³
Módulo resistente de alabeo	W _w	9210.91	cm ⁴
Momento estático	S _{y,max}	1070.00	cm ³
Momento estático	S _{z,max}	230.63	cm ³
Constante de alabeo normalizado	ω _{max}	224.63	cm ²
Momento estático de alabeo	S _{ω,max}	3453.61	cm ⁴
Módulo resistente plástico	W _{pl,y}	2140.00	cm ³
Módulo resistente plástico	W _{pl,z}	939.10	cm ³
Módulo resistente plástico de alabeo	W _{pl,ω}	13814.40	cm ⁴
Factor de forma plástica	α _{pl,y}	1.109	
Factor de forma plástica	α _{pl,z}	1.525	
Factor de forma plástica	α _{pl,ω}	1.500	
Curva de pandeo (DIN 18800-2:2008-11)	CP _{y,DIN}	b	
Curva de pandeo (DIN 18800-2:2008-11)	CP _{y,DIN}	c	
Curva de pandeo para acero con f _y ≥ 460 N/mm ² (DIN 18800-2:2008-11)	CP _{y,DIN,S4}	a	
Curva de pandeo para acero con f _y ≥ 460 N/mm ² (DIN 18800-2:2008-11)	CP _{z,DIN,S4}	b	
Curva de pandeo según EN	CP _{y,EN}	b	
Curva de pandeo según EN	CP _{z,EN}	c	
Curva de pandeo según EN para acero S 460	CP _{y,EN,S46}	a	
Curva de pandeo según EN para acero S 460	CP _{z,EN,S46}	a	

Figura 28. Propiedades de la sección.

Propiedades del material:

<input checked="" type="checkbox"/> Propiedades principales			
<input type="checkbox"/> Módulo de elasticidad	E	21000.00	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Módulo de cortante	G	8076.92	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Coeficiente de Poisson	ν	0.300	
<input type="checkbox"/> Peso específico	γ	78.50	kN/m ³
<input type="checkbox"/> Coeficiente de dilatación térmica	α	1.2000E-05	1/°C
<input checked="" type="checkbox"/> Propiedades adicionales			
<input checked="" type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t \leq 40.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	27.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	43.00	kN/cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 40.0$ mm y $t \leq 80.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	25.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	41.00	kN/cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 80.0$ mm y $t \leq 100.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	23.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	41.00	kN/cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 100.0$ mm y $t \leq 150.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	22.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	40.00	kN/cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 150.0$ mm y $t \leq 200.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	21.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	38.00	kN/cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 200.0$ mm y $t \leq 250.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	20.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	38.00	kN/cm ²
<input checked="" type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 250.0$ mm y $t \leq 400.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	19.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	38.00	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Coeficiente de correlación para soldaduras en ángulo	β_w	0.850	

Figura 29. Propiedades del material.

Normativa:

Anejo original	Descripción
CEN	Unión Europea

Coeficientes	
Coeficientes parciales de seguridad para	
- Resistencia de secciones	γ_{M0} : 1.00
- La resistencia de barras al fallo de estabilidad (cálculo de barras), así como la resistencia de secciones al fallo de estabilidad (cálculo de secciones según la teoría de segundo orden)	γ_{M1} : 1.00
- Resistencia de soldadura	γ_{Mw} : 1.25
- Rigidez de fatiga	$\gamma_{M,F}$: 1.15
- Acciones permanentes	γ_G : 1.35
- Acciones variables, grúa	γ_Q : 1.35
- Acciones variables, otras	γ_{Qo} : 1.50
- Acciones de fatiga	$\gamma_{F,F}$: 1.00
Factor de combinación	ψ : 1.00
Coeficiente para resistencia a cortante	η : 1.20

Figura 30. Normativa.

Apoyos:

Longitud total de la viga:
L: 35.000 [m]

Apoyos		
Constantes elásticas		
Articulación		
Apoyo núm.	A	B
	Posición x [m]	Tipo de apoyo
1	0.000	Articulado fijo
2	5.000	Articulado móvil
3	10.000	Articulado móvil
4	15.000	Articulado móvil
5	20.000	Articulado móvil
6	25.000	Articulado móvil
7	30.000	Articulado móvil

Figura 31. Apoyos.

Rigidizadores:

Apoyos				Constantes elásticas		Articulaciones		Rigidizador	
Vano núm.	A		B		C				
	Longitud L [m]		Número de paneles int.		Tipo de posición				
1	5.000		3		Regulamente				
2	5.000		3		Regulamente				
3	5.000		3		Regulamente				
4	5.000		3		Regulamente				
5	5.000		3		Regulamente				
6	5.000		3		Regulamente				
7	5.000		3		Regulamente				

Figura 32. Rigidizadores.

Parámetros de la grúa puente:

Parámetros de grúa			
Clasificación			
<input type="checkbox"/> Coeficiente dinámico para			
<input type="checkbox"/> Peso de grúa	φ_1	1.100	
<input type="checkbox"/> Elevación de carga	φ_2	1.100	
<input type="checkbox"/> Peso de arranque repentino	φ_3	1.000	
<input type="checkbox"/> Desplazamiento de grúa	φ_4	1.000	
<input type="checkbox"/> Fuerza motriz	φ_5	1.000	
<input type="checkbox"/> Fuerza de tope	φ_7	1.250	
Clase S:		S3	
Tope de la grúa			
<input type="checkbox"/> Tope de grúa izquierdo	a_L	0.330	m
<input type="checkbox"/> Tope de grúa derecho	a_R	0.330	m
Cojinete de la grúa			
<input type="checkbox"/> Número de cojinetes	n_A	2	
<input type="checkbox"/> Distancia al centro	a_1	3.250	m
Cargas de grúa			
<input type="checkbox"/> Ambas vigas (W-max y W-min)			
<input type="checkbox"/> Viga con W-max			
<input type="checkbox"/> Cojinete	i_A	1	
<input type="checkbox"/> Distancia de la fuerza oblicua	e	0.000	m
<input type="checkbox"/> Fuerza oblicua	S	0.00	kN
<input type="checkbox"/> Cargas verticales por rueda	$Q_{C,1,1}$	40.84	kN
<input type="checkbox"/> Cargas verticales por rueda	$Q_{H,1,1}$	208.32	kN
<input type="checkbox"/> Cargas horizontales por rueda	$H_{T,1,1}$	-5.63	kN
<input type="checkbox"/> Cargas horizontales por rueda	$H_{S,1,1}$	0.00	kN
<input type="checkbox"/> Cargas horizontales por rueda	$H_{T3,1,1}$	0.00	kN
<input type="checkbox"/> Cargas horizontales por rueda	$H_{L,1,1}$	0.00	kN
<input type="checkbox"/> Cargas verticales por rueda	$Q_{C,1,2}$	40.84	kN
<input type="checkbox"/> Cargas verticales por rueda	$Q_{H,1,2}$	208.32	kN
<input type="checkbox"/> Cargas horizontales por rueda	$H_{T,1,2}$	-5.63	kN
<input type="checkbox"/> Cargas horizontales por rueda	$H_{S,1,2}$	0.00	kN
<input type="checkbox"/> Cargas horizontales por rueda	$H_{T3,1,2}$	0.00	kN
<input type="checkbox"/> Cargas horizontales por rueda	$H_{L,1,2}$	0.00	kN

Figura 33. Parámetros de la grúa puente 1

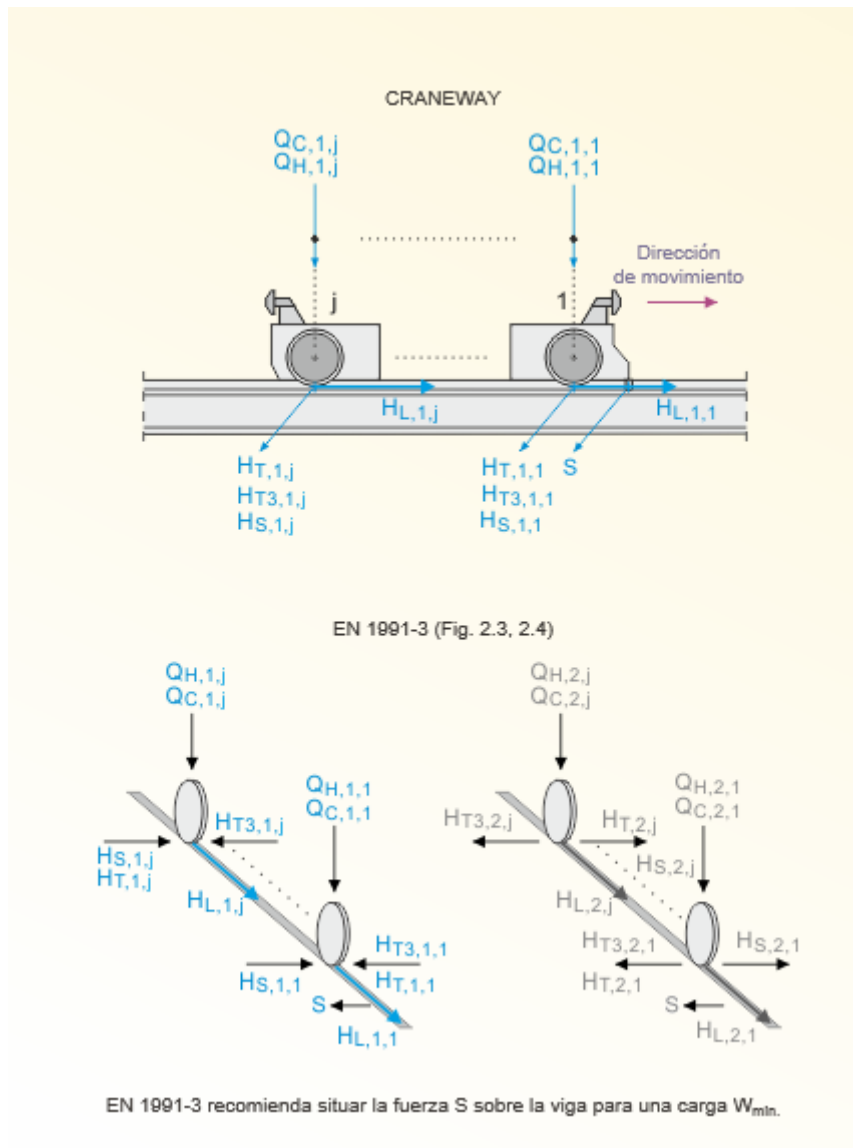


Figura 34. Parámetros de la grúa puente 2

Cargas:

Cargas de grúa						
Viga i = 1 (W-max)						
Cojinete	Cargas vert. por rueda		Cargas horizontales por rueda			Cargas long.
j	$Q_{C,i,j}$ [kN]	$Q_{H,i,j}$ [kN]	$H_{T,i,j}$ [kN]	$H_{s,i,j}$ [kN]	$H_{T3,i,j}$ [kN]	H_L [kN]
1	40.84	208.32	-5.63	0.00	0.00	0.00
2	40.84	208.32	-5.63	0.00	0.00	0.00

Figura 35. Cargas verticales y horizontales.

Casos de carga (resistencia):

Casos de carga	
A	B
CC núm.	Descripción
CC1	Peso propio + Carga permanente adicional
CC2	Cargas variables adicionales
CC3	Q_c
CC4	$Q_c \varphi_1$
CC5	$Q_c \varphi_4$
CC6	$Q_H \max(\varphi_2, \varphi_3)$
CC7	$Q_H \varphi_4$
CC8	$H_T \varphi_5 + H_L \varphi_5$
CC9	$(H_S + S)$
CC10	H_{T3}

Figura 36. Casos de carga para resistencia.

Casos de carga (fatiga):

Casos de carga	
A	B
CC núm.	Descripción
CC1	Peso propio + Carga permanente adicional
CC2,4...	$Q_c (1 + \varphi_1)/2$
CC3,5...	$Q_H (1 + \varphi_2)/2$

Figura 37. Casos de carga para fatiga.

Combinaciones de carga (resistencia):

Combinaciones de carga					
A	B	C	D	E	F
CO núm.	Viga	Posición de 1ª rueda de grúa [m]			Descripción de la carga
		Grúa 1	Grúa 2	Grúa 3	
CO1					γ_G CC1
CO2	Max	0.000			γ_G (CC1 + CC4) + γ_Q (CC6 + CC8) + γ_{Qo} CC2
CO3	Max	0.000			γ_G (CC1 + CC3) + γ_Q CC8 + γ_{Qo} CC2
CO4	Max	0.000			γ_G (CC1 + CC5) + γ_Q (CC7 + CC8) + γ_{Qo} CC2
CO5	Max	0.000			γ_G (CC1 + CC5) + γ_Q (CC7 + CC9) + γ_{Qo} CC2
CO6	Max	0.000			γ_G (CC1 + CC5) + γ_Q (CC7 + CC10)
CO7	Max	1.000			γ_G (CC1 + CC12) + γ_Q (CC14 + CC16) + γ_{Qo} CC2
CO8	Max	1.000			γ_G (CC1 + CC11) + γ_Q CC16 + γ_{Qo} CC2
CO9	Max	1.000			γ_G (CC1 + CC13) + γ_Q (CC15 + CC16) + γ_{Qo} CC2
CO10	Max	1.000			γ_G (CC1 + CC13) + γ_Q (CC15 + CC17) + γ_{Qo} CC2
CO11	Max	1.000			γ_G (CC1 + CC13) + γ_Q (CC15 + CC18)
CO12	Max	2.000			γ_G (CC1 + CC20) + γ_Q (CC22 + CC24) + γ_{Qo} CC2
CO13	Max	2.000			γ_G (CC1 + CC19) + γ_Q CC24 + γ_{Qo} CC2
CO14	Max	2.000			γ_G (CC1 + CC21) + γ_Q (CC23 + CC24) + γ_{Qo} CC2
CO15	Max	2.000			γ_G (CC1 + CC21) + γ_Q (CC23 + CC25) + γ_{Qo} CC2
CO16	Max	2.000			γ_G (CC1 + CC21) + γ_Q (CC23 + CC26)
CO17	Max	3.000			γ_G (CC1 + CC28) + γ_Q (CC30 + CC32) + γ_{Qo} CC2
CO18	Max	3.000			γ_G (CC1 + CC27) + γ_Q CC32 + γ_{Qo} CC2
CO19	Max	3.000			γ_G (CC1 + CC29) + γ_Q (CC31 + CC32) + γ_{Qo} CC2
CO20	Max	3.000			γ_G (CC1 + CC29) + γ_Q (CC31 + CC33) + γ_{Qo} CC2
CO21	Max	3.000			γ_G (CC1 + CC29) + γ_Q (CC31 + CC34)
CO22	Max	3.250			γ_G (CC1 + CC36) + γ_Q (CC38 + CC40) + γ_{Qo} CC2
CO23	Max	3.250			γ_G (CC1 + CC35) + γ_Q CC40 + γ_{Qo} CC2
CO24	Max	3.250			γ_G (CC1 + CC37) + γ_Q (CC39 + CC40) + γ_{Qo} CC2
CO25	Max	3.250			γ_G (CC1 + CC37) + γ_Q (CC39 + CC41) + γ_{Qo} CC2
CO26	Max	3.250			γ_G (CC1 + CC37) + γ_Q (CC39 + CC42)
CO27	Max	4.250			γ_G (CC1 + CC44) + γ_Q (CC46 + CC48) + γ_{Qo} CC2
CO28	Max	4.250			γ_G (CC1 + CC43) + γ_Q CC48 + γ_{Qo} CC2
CO29	Max	4.250			γ_G (CC1 + CC45) + γ_Q (CC47 + CC48) + γ_{Qo} CC2
CO30	Max	4.250			γ_G (CC1 + CC45) + γ_Q (CC47 + CC49) + γ_{Qo} CC2
CO31	Max	4.250			γ_G (CC1 + CC45) + γ_Q (CC47 + CC50)
CO32	Max	5.250			γ_G (CC1 + CC52) + γ_Q (CC54 + CC56) + γ_{Qo} CC2
CO33	Max	5.250			γ_G (CC1 + CC51) + γ_Q CC56 + γ_{Qo} CC2
CO34	Max	5.250			γ_G (CC1 + CC53) + γ_Q (CC55 + CC56) + γ_{Qo} CC2
CO35	Max	5.250			γ_G (CC1 + CC53) + γ_Q (CC55 + CC57) + γ_{Qo} CC2
CO36	Max	5.250			γ_G (CC1 + CC53) + γ_Q (CC55 + CC58)
CO37	Max	6.250			γ_G (CC1 + CC60) + γ_Q (CC62 + CC64) + γ_{Qo} CC2
CO38	Max	6.250			γ_G (CC1 + CC59) + γ_Q CC64 + γ_{Qo} CC2
CO39	Max	6.250			γ_G (CC1 + CC61) + γ_Q (CC63 + CC64) + γ_{Qo} CC2
CO40	Max	6.250			γ_G (CC1 + CC61) + γ_Q (CC63 + CC65) + γ_{Qo} CC2
CO41	Max	6.250			γ_G (CC1 + CC61) + γ_Q (CC63 + CC66)
CO42	Max	7.250			γ_G (CC1 + CC68) + γ_Q (CC70 + CC72) + γ_{Qo} CC2
CO43	Max	7.250			γ_G (CC1 + CC67) + γ_Q CC72 + γ_{Qo} CC2
CO44	Max	7.250			γ_G (CC1 + CC69) + γ_Q (CC71 + CC72) + γ_{Qo} CC2

C045	Max	7.250		$\gamma_G (CC1 + CC69) + \gamma_Q (CC71 + CC73) + \gamma_{Qo} CC2$
C046	Max	7.250		$\gamma_G (CC1 + CC69) + \gamma_Q (CC71 + CC74)$
C047	Max	8.250		$\gamma_G (CC1 + CC76) + \gamma_Q (CC78 + CC80) + \gamma_{Qo} CC2$
C048	Max	8.250		$\gamma_G (CC1 + CC75) + \gamma_Q CC80 + \gamma_{Qo} CC2$
C049	Max	8.250		$\gamma_G (CC1 + CC77) + \gamma_Q (CC79 + CC80) + \gamma_{Qo} CC2$
C050	Max	8.250		$\gamma_G (CC1 + CC77) + \gamma_Q (CC79 + CC81) + \gamma_{Qo} CC2$
C051	Max	8.250		$\gamma_G (CC1 + CC77) + \gamma_Q (CC79 + CC82)$
C052	Max	9.250		$\gamma_G (CC1 + CC84) + \gamma_Q (CC86 + CC88) + \gamma_{Qo} CC2$
C053	Max	9.250		$\gamma_G (CC1 + CC83) + \gamma_Q CC88 + \gamma_{Qo} CC2$
C054	Max	9.250		$\gamma_G (CC1 + CC85) + \gamma_Q (CC87 + CC88) + \gamma_{Qo} CC2$
C055	Max	9.250		$\gamma_G (CC1 + CC85) + \gamma_Q (CC87 + CC89) + \gamma_{Qo} CC2$
C056	Max	9.250		$\gamma_G (CC1 + CC85) + \gamma_Q (CC87 + CC90)$
C057	Max	10.250		$\gamma_G (CC1 + CC92) + \gamma_Q (CC94 + CC96) + \gamma_{Qo} CC2$
C058	Max	10.250		$\gamma_G (CC1 + CC91) + \gamma_Q CC96 + \gamma_{Qo} CC2$
C059	Max	10.250		$\gamma_G (CC1 + CC93) + \gamma_Q (CC95 + CC96) + \gamma_{Qo} CC2$
C060	Max	10.250		$\gamma_G (CC1 + CC93) + \gamma_Q (CC95 + CC97) + \gamma_{Qo} CC2$
C061	Max	10.250		$\gamma_G (CC1 + CC93) + \gamma_Q (CC95 + CC98)$
C062	Max	11.250		$\gamma_G (CC1 + CC100) + \gamma_Q (CC102 + CC104) + \gamma_{Qo} CC2$
C063	Max	11.250		$\gamma_G (CC1 + CC99) + \gamma_Q CC104 + \gamma_{Qo} CC2$
C064	Max	11.250		$\gamma_G (CC1 + CC101) + \gamma_Q (CC103 + CC104) + \gamma_{Qo} CC2$
C065	Max	11.250		$\gamma_G (CC1 + CC101) + \gamma_Q (CC103 + CC105) + \gamma_{Qo} CC2$
C066	Max	11.250		$\gamma_G (CC1 + CC101) + \gamma_Q (CC103 + CC106)$
C067	Max	12.250		$\gamma_G (CC1 + CC108) + \gamma_Q (CC110 + CC112) + \gamma_{Qo} CC2$
C068	Max	12.250		$\gamma_G (CC1 + CC107) + \gamma_Q CC112 + \gamma_{Qo} CC2$
C069	Max	12.250		$\gamma_G (CC1 + CC109) + \gamma_Q (CC111 + CC112) + \gamma_{Qo} CC2$
C070	Max	12.250		$\gamma_G (CC1 + CC109) + \gamma_Q (CC111 + CC113) + \gamma_{Qo} CC2$
C071	Max	12.250		$\gamma_G (CC1 + CC109) + \gamma_Q (CC111 + CC114)$
C072	Max	13.250		$\gamma_G (CC1 + CC116) + \gamma_Q (CC118 + CC120) + \gamma_{Qo} CC2$
C073	Max	13.250		$\gamma_G (CC1 + CC115) + \gamma_Q CC120 + \gamma_{Qo} CC2$
C074	Max	13.250		$\gamma_G (CC1 + CC117) + \gamma_Q (CC119 + CC120) + \gamma_{Qo} CC2$
C075	Max	13.250		$\gamma_G (CC1 + CC117) + \gamma_Q (CC119 + CC121) + \gamma_{Qo} CC2$
C076	Max	13.250		$\gamma_G (CC1 + CC117) + \gamma_Q (CC119 + CC122)$
C077	Max	14.250		$\gamma_G (CC1 + CC124) + \gamma_Q (CC126 + CC128) + \gamma_{Qo} CC2$
C078	Max	14.250		$\gamma_G (CC1 + CC123) + \gamma_Q CC128 + \gamma_{Qo} CC2$
C079	Max	14.250		$\gamma_G (CC1 + CC125) + \gamma_Q (CC127 + CC128) + \gamma_{Qo} CC2$
C080	Max	14.250		$\gamma_G (CC1 + CC125) + \gamma_Q (CC127 + CC129) + \gamma_{Qo} CC2$
C081	Max	14.250		$\gamma_G (CC1 + CC125) + \gamma_Q (CC127 + CC130)$
C082	Max	15.250		$\gamma_G (CC1 + CC132) + \gamma_Q (CC134 + CC136) + \gamma_{Qo} CC2$
C083	Max	15.250		$\gamma_G (CC1 + CC131) + \gamma_Q CC136 + \gamma_{Qo} CC2$
C084	Max	15.250		$\gamma_G (CC1 + CC133) + \gamma_Q (CC135 + CC136) + \gamma_{Qo} CC2$
C085	Max	15.250		$\gamma_G (CC1 + CC133) + \gamma_Q (CC135 + CC137) + \gamma_{Qo} CC2$
C086	Max	15.250		$\gamma_G (CC1 + CC133) + \gamma_Q (CC135 + CC138)$
C087	Max	16.250		$\gamma_G (CC1 + CC140) + \gamma_Q (CC142 + CC144) + \gamma_{Qo} CC2$
C088	Max	16.250		$\gamma_G (CC1 + CC139) + \gamma_Q CC144 + \gamma_{Qo} CC2$

CO89	Max	16.250		$\gamma_G (CC1 + CC141) + \gamma_Q (CC143 + CC144) + \gamma_{Qo} CC2$
CO90	Max	16.250		$\gamma_G (CC1 + CC141) + \gamma_Q (CC143 + CC145) + \gamma_{Qo} CC2$
CO91	Max	16.250		$\gamma_G (CC1 + CC141) + \gamma_Q (CC143 + CC146)$
CO92	Max	17.250		$\gamma_G (CC1 + CC148) + \gamma_Q (CC150 + CC152) + \gamma_{Qo} CC2$
CO93	Max	17.250		$\gamma_G (CC1 + CC147) + \gamma_Q CC152 + \gamma_{Qo} CC2$
CO94	Max	17.250		$\gamma_G (CC1 + CC149) + \gamma_Q (CC151 + CC152) + \gamma_{Qo} CC2$
CO95	Max	17.250		$\gamma_G (CC1 + CC149) + \gamma_Q (CC151 + CC153) + \gamma_{Qo} CC2$
CO96	Max	17.250		$\gamma_G (CC1 + CC149) + \gamma_Q (CC151 + CC154)$
CO97	Max	18.250		$\gamma_G (CC1 + CC156) + \gamma_Q (CC158 + CC160) + \gamma_{Qo} CC2$
CO98	Max	18.250		$\gamma_G (CC1 + CC155) + \gamma_Q CC160 + \gamma_{Qo} CC2$
CO99	Max	18.250		$\gamma_G (CC1 + CC157) + \gamma_Q (CC159 + CC160) + \gamma_{Qo} CC2$
CO100	Max	18.250		$\gamma_G (CC1 + CC157) + \gamma_Q (CC159 + CC161) + \gamma_{Qo} CC2$
CO101	Max	18.250		$\gamma_G (CC1 + CC157) + \gamma_Q (CC159 + CC162)$
CO102	Max	19.250		$\gamma_G (CC1 + CC164) + \gamma_Q (CC166 + CC168) + \gamma_{Qo} CC2$
CO103	Max	19.250		$\gamma_G (CC1 + CC163) + \gamma_Q CC168 + \gamma_{Qo} CC2$
CO104	Max	19.250		$\gamma_G (CC1 + CC165) + \gamma_Q (CC167 + CC168) + \gamma_{Qo} CC2$
CO105	Max	19.250		$\gamma_G (CC1 + CC165) + \gamma_Q (CC167 + CC169) + \gamma_{Qo} CC2$
CO106	Max	19.250		$\gamma_G (CC1 + CC165) + \gamma_Q (CC167 + CC170)$
CO107	Max	20.250		$\gamma_G (CC1 + CC172) + \gamma_Q (CC174 + CC176) + \gamma_{Qo} CC2$
CO108	Max	20.250		$\gamma_G (CC1 + CC171) + \gamma_Q CC176 + \gamma_{Qo} CC2$
CO109	Max	20.250		$\gamma_G (CC1 + CC173) + \gamma_Q (CC175 + CC176) + \gamma_{Qo} CC2$
CO110	Max	20.250		$\gamma_G (CC1 + CC173) + \gamma_Q (CC175 + CC177) + \gamma_{Qo} CC2$
CO111	Max	20.250		$\gamma_G (CC1 + CC173) + \gamma_Q (CC175 + CC178)$
CO112	Max	21.250		$\gamma_G (CC1 + CC180) + \gamma_Q (CC182 + CC184) + \gamma_{Qo} CC2$
CO113	Max	21.250		$\gamma_G (CC1 + CC179) + \gamma_Q CC184 + \gamma_{Qo} CC2$
CO114	Max	21.250		$\gamma_G (CC1 + CC181) + \gamma_Q (CC183 + CC184) + \gamma_{Qo} CC2$
CO115	Max	21.250		$\gamma_G (CC1 + CC181) + \gamma_Q (CC183 + CC185) + \gamma_{Qo} CC2$
CO116	Max	21.250		$\gamma_G (CC1 + CC181) + \gamma_Q (CC183 + CC186)$
CO117	Max	22.250		$\gamma_G (CC1 + CC188) + \gamma_Q (CC190 + CC192) + \gamma_{Qo} CC2$
CO118	Max	22.250		$\gamma_G (CC1 + CC187) + \gamma_Q CC192 + \gamma_{Qo} CC2$
CO119	Max	22.250		$\gamma_G (CC1 + CC189) + \gamma_Q (CC191 + CC192) + \gamma_{Qo} CC2$
CO120	Max	22.250		$\gamma_G (CC1 + CC189) + \gamma_Q (CC191 + CC193) + \gamma_{Qo} CC2$
CO121	Max	22.250		$\gamma_G (CC1 + CC189) + \gamma_Q (CC191 + CC194)$
CO122	Max	23.250		$\gamma_G (CC1 + CC196) + \gamma_Q (CC198 + CC200) + \gamma_{Qo} CC2$
CO123	Max	23.250		$\gamma_G (CC1 + CC195) + \gamma_Q CC200 + \gamma_{Qo} CC2$
CO124	Max	23.250		$\gamma_G (CC1 + CC197) + \gamma_Q (CC199 + CC200) + \gamma_{Qo} CC2$
CO125	Max	23.250		$\gamma_G (CC1 + CC197) + \gamma_Q (CC199 + CC201) + \gamma_{Qo} CC2$
CO126	Max	23.250		$\gamma_G (CC1 + CC197) + \gamma_Q (CC199 + CC202)$
CO127	Max	24.250		$\gamma_G (CC1 + CC204) + \gamma_Q (CC206 + CC208) + \gamma_{Qo} CC2$
CO128	Max	24.250		$\gamma_G (CC1 + CC203) + \gamma_Q CC208 + \gamma_{Qo} CC2$
CO129	Max	24.250		$\gamma_G (CC1 + CC205) + \gamma_Q (CC207 + CC208) + \gamma_{Qo} CC2$
CO130	Max	24.250		$\gamma_G (CC1 + CC205) + \gamma_Q (CC207 + CC209) + \gamma_{Qo} CC2$
CO131	Max	24.250		$\gamma_G (CC1 + CC205) + \gamma_Q (CC207 + CC210)$
CO132	Max	25.250		$\gamma_G (CC1 + CC212) + \gamma_Q (CC214 + CC216) + \gamma_{Qo} CC2$

CO133	Max	25.250		$\gamma_G (CC1 + CC211) + \gamma_Q CC216 + \gamma_{Qo} CC2$
CO134	Max	25.250		$\gamma_G (CC1 + CC213) + \gamma_Q (CC215 + CC216) + \gamma_{Qo} CC2$
CO135	Max	25.250		$\gamma_G (CC1 + CC213) + \gamma_Q (CC215 + CC217) + \gamma_{Qo} CC2$
CO136	Max	25.250		$\gamma_G (CC1 + CC213) + \gamma_Q (CC215 + CC218)$
CO137	Max	26.250		$\gamma_G (CC1 + CC220) + \gamma_Q (CC222 + CC224) + \gamma_{Qo} CC2$
CO138	Max	26.250		$\gamma_G (CC1 + CC219) + \gamma_Q CC224 + \gamma_{Qo} CC2$
CO139	Max	26.250		$\gamma_G (CC1 + CC221) + \gamma_Q (CC223 + CC224) + \gamma_{Qo} CC2$
CO140	Max	26.250		$\gamma_G (CC1 + CC221) + \gamma_Q (CC223 + CC225) + \gamma_{Qo} CC2$
CO141	Max	26.250		$\gamma_G (CC1 + CC221) + \gamma_Q (CC223 + CC226)$
CO142	Max	27.250		$\gamma_G (CC1 + CC228) + \gamma_Q (CC230 + CC232) + \gamma_{Qo} CC2$
CO143	Max	27.250		$\gamma_G (CC1 + CC227) + \gamma_Q CC232 + \gamma_{Qo} CC2$
CO144	Max	27.250		$\gamma_G (CC1 + CC229) + \gamma_Q (CC231 + CC232) + \gamma_{Qo} CC2$
CO145	Max	27.250		$\gamma_G (CC1 + CC229) + \gamma_Q (CC231 + CC233) + \gamma_{Qo} CC2$
CO146	Max	27.250		$\gamma_G (CC1 + CC229) + \gamma_Q (CC231 + CC234)$
CO147	Max	28.250		$\gamma_G (CC1 + CC236) + \gamma_Q (CC238 + CC240) + \gamma_{Qo} CC2$
CO148	Max	28.250		$\gamma_G (CC1 + CC235) + \gamma_Q CC240 + \gamma_{Qo} CC2$
CO149	Max	28.250		$\gamma_G (CC1 + CC237) + \gamma_Q (CC239 + CC240) + \gamma_{Qo} CC2$
CO150	Max	28.250		$\gamma_G (CC1 + CC237) + \gamma_Q (CC239 + CC241) + \gamma_{Qo} CC2$
CO151	Max	28.250		$\gamma_G (CC1 + CC237) + \gamma_Q (CC239 + CC242)$
CO152	Max	29.250		$\gamma_G (CC1 + CC244) + \gamma_Q (CC246 + CC248) + \gamma_{Qo} CC2$
CO153	Max	29.250		$\gamma_G (CC1 + CC243) + \gamma_Q CC248 + \gamma_{Qo} CC2$
CO154	Max	29.250		$\gamma_G (CC1 + CC245) + \gamma_Q (CC247 + CC248) + \gamma_{Qo} CC2$
CO155	Max	29.250		$\gamma_G (CC1 + CC245) + \gamma_Q (CC247 + CC249) + \gamma_{Qo} CC2$
CO156	Max	29.250		$\gamma_G (CC1 + CC245) + \gamma_Q (CC247 + CC250)$
CO157	Max	30.250		$\gamma_G (CC1 + CC252) + \gamma_Q (CC254 + CC256) + \gamma_{Qo} CC2$
CO158	Max	30.250		$\gamma_G (CC1 + CC251) + \gamma_Q CC256 + \gamma_{Qo} CC2$
CO159	Max	30.250		$\gamma_G (CC1 + CC253) + \gamma_Q (CC255 + CC256) + \gamma_{Qo} CC2$
CO160	Max	30.250		$\gamma_G (CC1 + CC253) + \gamma_Q (CC255 + CC257) + \gamma_{Qo} CC2$
CO161	Max	30.250		$\gamma_G (CC1 + CC253) + \gamma_Q (CC255 + CC258)$
CO162	Max	31.250		$\gamma_G (CC1 + CC260) + \gamma_Q (CC262 + CC264) + \gamma_{Qo} CC2$
CO163	Max	31.250		$\gamma_G (CC1 + CC259) + \gamma_Q CC264 + \gamma_{Qo} CC2$
CO164	Max	31.250		$\gamma_G (CC1 + CC261) + \gamma_Q (CC263 + CC264) + \gamma_{Qo} CC2$
CO165	Max	31.250		$\gamma_G (CC1 + CC261) + \gamma_Q (CC263 + CC265) + \gamma_{Qo} CC2$

CO166	Max	31.250			$\gamma_G (CC1 + CC261) + \gamma_Q (CC263 + CC266)$
CO167	Max	32.250			$\gamma_G (CC1 + CC268) + \gamma_Q (CC270 + CC272) + \gamma_{Qo} CC2$
CO168	Max	32.250			$\gamma_G (CC1 + CC267) + \gamma_Q CC272 + \gamma_{Qo} CC2$
CO169	Max	32.250			$\gamma_G (CC1 + CC269) + \gamma_Q (CC271 + CC272) + \gamma_{Qo} CC2$
CO170	Max	32.250			$\gamma_G (CC1 + CC269) + \gamma_Q (CC271 + CC273) + \gamma_{Qo} CC2$
CO171	Max	32.250			$\gamma_G (CC1 + CC269) + \gamma_Q (CC271 + CC274)$
CO172	Max	33.250			$\gamma_G (CC1 + CC276) + \gamma_Q (CC278 + CC280) + \gamma_{Qo} CC2$
CO173	Max	33.250			$\gamma_G (CC1 + CC275) + \gamma_Q CC280 + \gamma_{Qo} CC2$
CO174	Max	33.250			$\gamma_G (CC1 + CC277) + \gamma_Q (CC279 + CC280) + \gamma_{Qo} CC2$
CO175	Max	33.250			$\gamma_G (CC1 + CC277) + \gamma_Q (CC279 + CC281) + \gamma_{Qo} CC2$
CO176	Max	33.250			$\gamma_G (CC1 + CC277) + \gamma_Q (CC279 + CC282)$
CO177	Max	34.250			$\gamma_G (CC1 + CC284) + \gamma_Q (CC286 + CC288) + \gamma_{Qo} CC2$
CO178	Max	34.250			$\gamma_G (CC1 + CC283) + \gamma_Q CC288 + \gamma_{Qo} CC2$
CO179	Max	34.250			$\gamma_G (CC1 + CC285) + \gamma_Q (CC287 + CC288) + \gamma_{Qo} CC2$
CO180	Max	34.250			$\gamma_G (CC1 + CC285) + \gamma_Q (CC287 + CC289) + \gamma_{Qo} CC2$
CO181	Max	34.250			$\gamma_G (CC1 + CC285) + \gamma_Q (CC287 + CC290)$
CO182	Max	35.000			$\gamma_G (CC1 + CC292) + \gamma_Q (CC294 + CC296) + \gamma_{Qo} CC2$
CO183	Max	35.000			$\gamma_G (CC1 + CC291) + \gamma_Q CC296 + \gamma_{Qo} CC2$
CO184	Max	35.000			$\gamma_G (CC1 + CC293) + \gamma_Q (CC295 + CC296) + \gamma_{Qo} CC2$
CO185	Max	35.000			$\gamma_G (CC1 + CC293) + \gamma_Q (CC295 + CC297) + \gamma_{Qo} CC2$
CO186	Max	35.000			$\gamma_G (CC1 + CC293) + \gamma_Q (CC295 + CC298)$

Figura 38. Combinaciones de carga (resistencia)

Combinaciones de carga (fatiga):

Combinaciones de carga					
A	B	C	D	E	F
CO núm.	Viga	Posición de 1ª rueda de grúa [m]			Descripción de la carga
		Grúa 1	Grúa 2	Grúa 3	
CO1	Max	0.000			CC1 + CC2 + CC3
CO2	Max	1.000			CC1 + CC4 + CC5
CO3	Max	2.000			CC1 + CC6 + CC7
CO4	Max	3.000			CC1 + CC8 + CC9
CO5	Max	3.250			CC1 + CC10 + CC11
CO6	Max	4.250			CC1 + CC12 + CC13
CO7	Max	5.250			CC1 + CC14 + CC15
CO8	Max	6.250			CC1 + CC16 + CC17
CO9	Max	7.250			CC1 + CC18 + CC19
CO10	Max	8.250			CC1 + CC20 + CC21
CO11	Max	9.250			CC1 + CC22 + CC23
CO12	Max	10.250			CC1 + CC24 + CC25
CO13	Max	11.250			CC1 + CC26 + CC27
CO14	Max	12.250			CC1 + CC28 + CC29
CO15	Max	13.250			CC1 + CC30 + CC31
CO16	Max	14.250			CC1 + CC32 + CC33
CO17	Max	15.250			CC1 + CC34 + CC35
CO18	Max	16.250			CC1 + CC36 + CC37
CO19	Max	17.250			CC1 + CC38 + CC39
CO20	Max	18.250			CC1 + CC40 + CC41
CO21	Max	19.250			CC1 + CC42 + CC43
CO22	Max	20.250			CC1 + CC44 + CC45

CO23	Max	21.250			CC1 + CC46 + CC47
CO24	Max	22.250			CC1 + CC48 + CC49
CO25	Max	23.250			CC1 + CC50 + CC51
CO26	Max	24.250			CC1 + CC52 + CC53
CO27	Max	25.250			CC1 + CC54 + CC55
CO28	Max	26.250			CC1 + CC56 + CC57
CO29	Max	27.250			CC1 + CC58 + CC59
CO30	Max	28.250			CC1 + CC60 + CC61
CO31	Max	29.250			CC1 + CC62 + CC63
CO32	Max	30.250			CC1 + CC64 + CC65
CO33	Max	31.250			CC1 + CC66 + CC67
CO34	Max	32.250			CC1 + CC68 + CC69
CO35	Max	33.250			CC1 + CC70 + CC71
CO36	Max	34.250			CC1 + CC72 + CC73
CO37	Max	35.000			CC1 + CC74 + CC75

Figura 39. Combinaciones de carga (fatiga)

5.17.1.1. Resultados

Para cada posición en la que este la grúa, existen diferentes combinaciones. El programa CRANEWAY estudia todas las combinaciones de carga posibles y analiza los esfuerzos internos, deformaciones, tensiones, abolladuras, soldadura y fatiga en todo el largo de la viga carril.

En este caso particular se han obtenido 186 combinaciones. Y tras analizar los resultados, se considera el siguiente resumen de cálculo:

2.1 Resumen de cálculo					
A	B	C	D		F
Tipo de cálculo	Barra núm.	Posición x [m]	Criterio de cálculo Existente	Limite	CO determinante
2.4 Análisis de tensiones	7	0.000	0.942	< 1.00	CO172
2.5 Análisis de deformación - Horizontal	7	2.750	3339.256	> 1000.00	CO187
2.5 Análisis de deformación - Vertical	7	2.750	876.912	> 750.000	CO190
2.6 Cálculo a fatiga	1	4.625	0.724	< 1.00	
2.7 Análisis de abolladura	1	4.625	0.712	< 1.00	
2.8 Soldaduras - Análisis de tensiones	1	4.625	0.502	< 1.00	CO27
2.9 Soldaduras - Cálculo a fatiga	1	0.500	2.322	> 1.00	
2.10 Factor de carga crítica	1		7.249	> 1.00	CO187

Figura 40. Resumen de cálculo.

- Tensiones a lo largo de la viga carril:

Se puede comprobar en las siguientes tablas los valores de las tensiones normales en el eje "x" y "z", las tensiones tangenciales y las tensiones equivalentes.

La tensión máxima equivalente se dará con la combinación número 172, con un valor de 25,90 kN/cm² sobre la barra 7.

2.4 Análisis de tensiones - Total							
A	B	C	D	E	F	G	H
Barra núm.	Posición x [m]	Ptos. de t núm.	CO determinante	Tensión Tipo	[kN/cm ²]	Razón de tensiones	
7	0.000	12	CO172	σ_{eqv}	25.90	0.942	
Barra núm. 7							
<input type="checkbox"/> Tensiones normales σ_x							
Barra determinante				Barra núm.	7		
Posición determinante en barra				x	2.750	m	
Punto de tensión determinante				Pto. de tens	17		
<input checked="" type="checkbox"/> Esfuerzos internos decisivos CO187 :							
Tensión normal máxima				$\sigma_{x,exist}$	17.78	kN/cm ²	
Tensión normal límite				$\sigma_{x,lim}$	27.50	kN/cm ²	
Criterio de comprobación				$D_{\sigma,x}$	0.647	< 1.0	
<input type="checkbox"/> Tensiones normales σ_z							
Barra determinante				Barra núm.	7		
Posición determinante en barra				x	4.750	m	
Punto de tensión determinante				Pto. de tens	10		
Tensión normal máxima				$\sigma_{z,exist}$	-8.99	kN/cm ²	
Tensión normal límite				$\sigma_{z,lim}$	27.50	kN/cm ²	
Criterio de comprobación				$D_{\sigma,z}$	0.327	< 1.0	
<input type="checkbox"/> Tensiones tangenciales τ							
Barra determinante				Barra núm.	7		
Posición determinante en barra				x	0.000	m	
Punto de tensión determinante				Pto. de tens	12		
<input checked="" type="checkbox"/> Esfuerzos internos decisivos CO172 :							
Tensión tangencial máxima				τ	14.95	kN/cm ²	
Tensión tangencial límite				τ_{lim}	15.88	kN/cm ²	
Criterio de comprobación				D_{τ}	0.942	< 1.0	
<input type="checkbox"/> Tensiones equivalentes σ_{eqv}							
Barra determinante				Barra núm.	7		
Posición determinante en barra				x	0.000	m	
Punto de tensión determinante				Pto. de tens	12		
<input checked="" type="checkbox"/> Esfuerzos internos decisivos CO172 :							
Tensión máxima equivalente				σ_{eqv}	25.90	kN/cm ²	
Tensión equivalente límite				$\sigma_{eqv,lim}$	27.50	kN/cm ²	
Criterio de comprobación				$D_{\sigma,eqv}$	0.942	< 1.0	

Figura 41. Análisis de tensiones.

Se puede observar en la siguiente imagen la tensión que sufre el perfil con la combinación anterior.

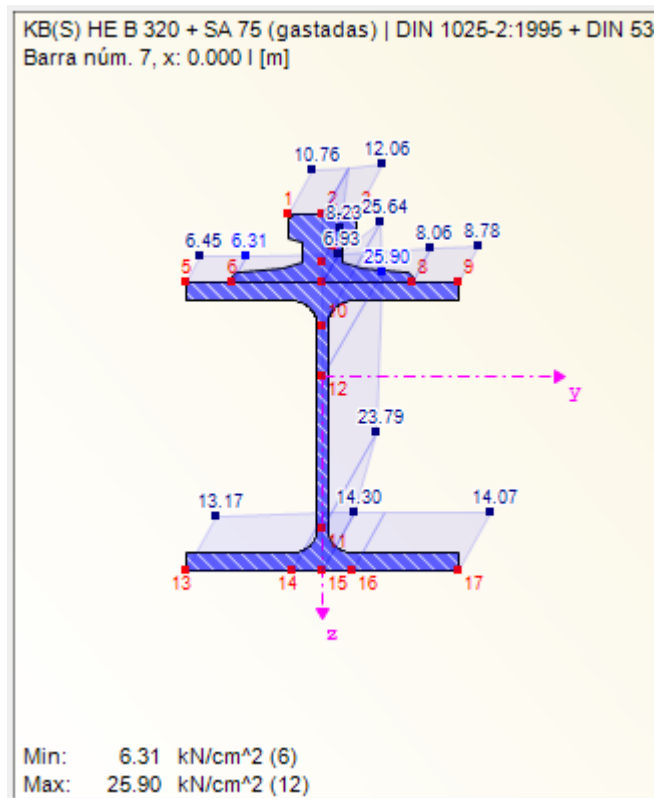


Figura 42. Tensión equivalente en el perfil de la viga.

Por último, se puede ver los diagramas de tensión a lo largo de la viga carril. Se puede apreciar, como se menciona anteriormente, que el último vano es el que soporta las tensiones máximas.

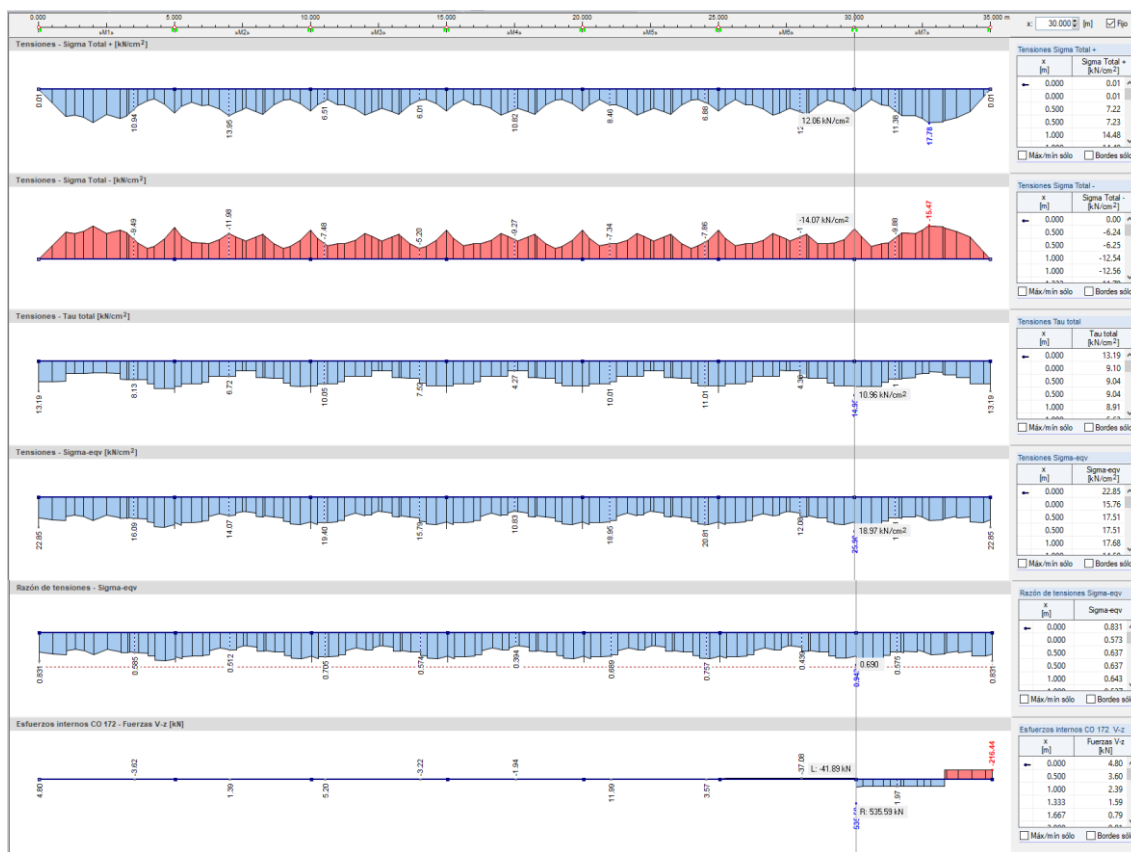


Figura 43. Diagrama de tensiones en la viga carril.

Deformaciones:

Se analizan las deformaciones máximas y mínimas en las combinaciones 187 y 190 tanto en horizontal como en vertical. Las dos en el vano 7.

2.5 Análisis de deformación por posición x							
A	B	C	D	E	F	G	H
Dirección	Barra núm.	Posición x [m]	CO detem.	Desplazamiento			
Horizontal	7	2.750	CO187	u [mm]	L/u	límite L/u	
Vertical	7	2.750	CO190	5.7	876.912	> 750.000	
Detalles - Deformaciones							
Longitud determinante de la barra				L	5.000	m	
Desplazamiento horizontal en el centro de cortant				$u_{Y,M}$	-0.7	mm	
Desplazamiento horizontal por torsión				$u_{Y,\varphi}$	-0.8	mm	
Desplazamiento horizontal en el camil superior				u_Y	-1.5	mm	
Desplazamiento vertical				u_Z	5.7	mm	
Giro respecto al eje X				φ_X	-3.701	mrاد	
Giro respecto al eje Y				φ_Y	0.217	mrاد	
Giro respecto al eje Z				φ_Z	0.013	mrاد	
Alabeo				ω	0.000	1/m	
<input checked="" type="checkbox"/> Análisis de deformación - EN 1993-6:2007/AC:2009-07							
<input type="checkbox"/> Comprobación determinante de la deformación horizontal según la tabla 7.1 a)							
Método de cálculo				Met γ	1		
<input type="checkbox"/> Comprobación determinante de la deformación vertical según la tabla 7.2 a)							
Método de cálculo				Met z	1		

Figura 44. Análisis de deformaciones.

Y los diagramas de deformaciones de la combinación 187.

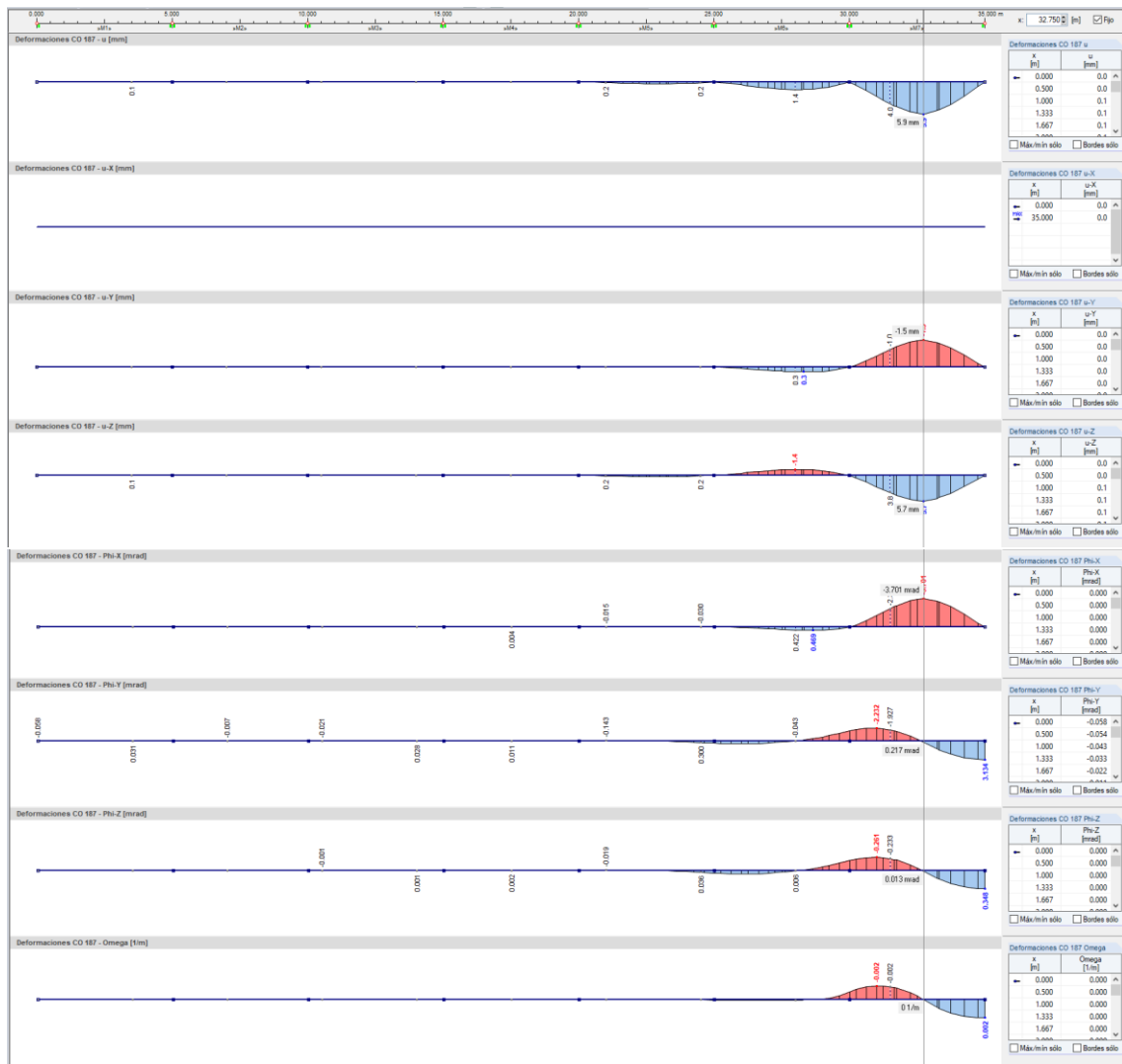


Figura 45. Diagrama de deformaciones CO187.

Fatiga:

2.6 Cálculo a fatiga - Total				
A	B	C	D	E
Barra núm.	Posición x [m]	Pto. tens. núm.	Razón	Cálculo determinante
7	2.750	2	0.342	Cálculo $\Delta \sigma_{E2}(x)$
7	2.750	5	0.198	Cálculo $\Delta \sigma_{E2}(x)$
7	2.750	6	0.253	Cálculo $\Delta \sigma_{E2}(x)$
7	2.750	8	0.253	Cálculo $\Delta \sigma_{E2}(x)$
7	2.750	9	0.198	Cálculo $\Delta \sigma_{E2}(x)$
1	4.625	10	0.724	Cálculo $\Delta \tau_{E2}(xz)$
7	0.000	11	0.621	Cálculo $\Delta \tau_{E2}(xz)$
7	0.000	12	0.693	Cálculo $\Delta \tau_{E2}(xz)$
7	2.750	13	0.407	Cálculo $\Delta \sigma_{E2}(x)$
7	2.750	17	0.407	Cálculo $\Delta \sigma_{E2}(x)$
1	0.000	18	0.000	Cálculo $\Delta \sigma_x$
1	0.000	19	0.000	Cálculo $\Delta \sigma_x$
1	0.000	20	0.000	Cálculo $\Delta \sigma_x$
1	0.000	21	0.000	Cálculo $\Delta \sigma_x$

Figura 46. Cálculo a fatiga.

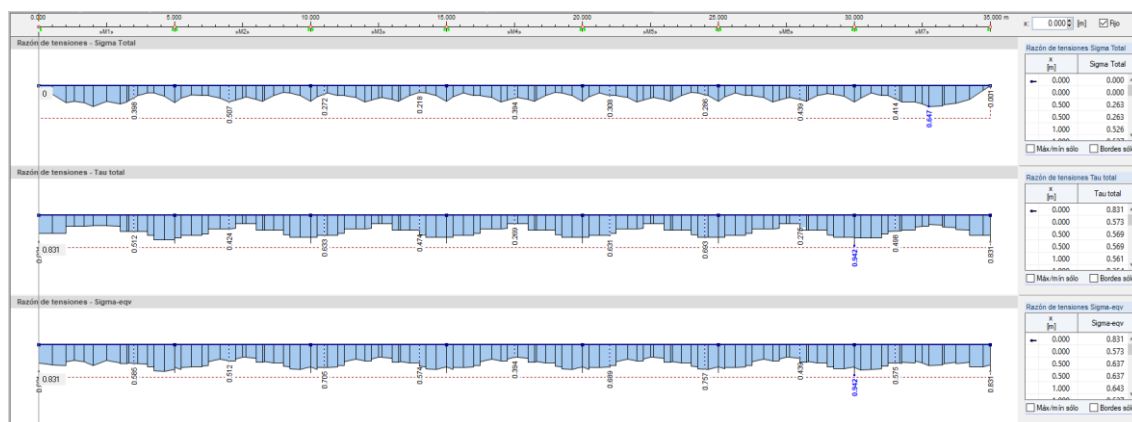


Figura 47. Diagrama de la viga carril debido a la fatiga.

En el diagrama se aprecian más los efectos de las tensiones máximas equivalentes a fatiga sobre el ultimo vano de la viga carril.

Abolladura:

2.7 Análisis de abolladura - Total				
A	B	C	D	E
Barra núm.	Panel de abolladura	Posición x [m]	Razón	
1	3	4.625	0.712	η_3 - Resistencia a la abolladura por tensiones tangenciales
2	1	0.250	0.656	η_3 - Resistencia a la abolladura por tensiones tangenciales
3	3	4.625	0.643	η_3 - Resistencia a la abolladura por tensiones tangenciales
4	3	4.625	0.643	η_3 - Resistencia a la abolladura por tensiones tangenciales
5	3	4.625	0.642	η_3 - Resistencia a la abolladura por tensiones tangenciales
6	1	0.250	0.641	η_3 - Resistencia a la abolladura por tensiones tangenciales
7	1	0.250	0.653	η_3 - Resistencia a la abolladura por tensiones tangenciales

Figura 48. Análisis de la abolladura.

Soldaduras (tensiones):

2.8 Soldaduras - Tensiones - Total						
A	B	C	D	E	F	G
Barra núm.	Posición x [m]	Posición de soldadura	CO detem.	Tensión [kN/cm ²]	Razón de tensiones	
1	4.625	Camil - Ala	CO27	6.71	0.502	

Figura 49. Análisis de soldaduras debido a tensiones.

Soldaduras (fatiga):

2.9 Soldaduras - Cálculo a fatiga - Total				
A	B	C	D	E
Barra núm.	Posición x [m]	Posición de soldadura	Razón	Tipo de tensión determinante
1	0.500	Camil - Ala	2.322	Daño causado por la tensión normal D_{norm}

Figura 50. Análisis de soldaduras debido a fatiga.

6. Predimensionamiento mediante el programa de cálculo

Se utilizará el Generador de Pórticos

6.1. Cálculo de correas

6.1.1. Correas de cubierta

Para el estudio de las correas de cubierta se ha elegido principalmente un perfil IPE 120 con una separación de 1,5 m y un acero S275. Una vez seleccionado los parámetros del punto anterior, el programa nos proporciona un listado de perfiles admisibles con su correspondiente porcentaje de aprovechamiento y peso. Finalmente se ha optado por el IPE 120.

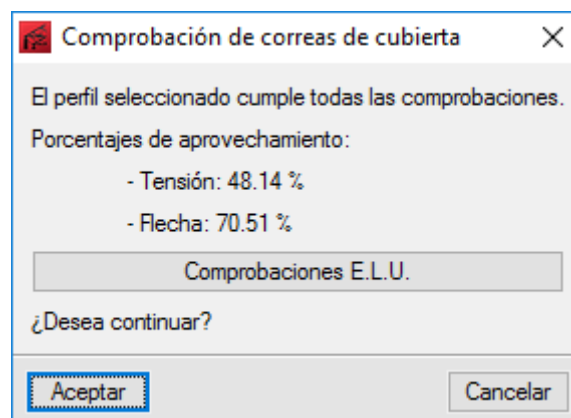


Figura 51. Comprobación de correas de cubierta.

A continuación, se muestran las comprobaciones de resistencia y de flecha de las correas en cubierta:

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Aprovechamiento: 48.14 %

Barra pésima en cubierta

Perfil: IPE 120 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)		
0.725, 10.000, 8.193	0.725, 5.000, 8.193	5.000	13.20	318.00	27.70	1.74		
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.			
b	0.00	1.00	0.00	0.00				
L _K	0.000	5.000	0.000	0.000				
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000				
C ₁	-		1.000					
Notación: b: 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
	I	l _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _y V _z	M _z V _y	
pésima en cubierta	N.P. ⁽¹⁾	x: 0.833 m l _w ≤ l _{w,máx} Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 5 m h = 48.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	x: 5 m h = 7.2	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.833 m h < 0.1	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE h = 48.1
Notación: I: Limitación de esbeltez l _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ 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. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽¹⁰⁾ 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 comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

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:

24.41 ≤ 248.01 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

t_w: Espesor del alma.

A_w: Área del alma.

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

h_w: 107.40 mm

t_w: 4.40 mm

A_w: 4.73 cm²

A_{rc,ef}: 4.03 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
E: Módulo de elasticidad.
f_{yr}: Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:

k : 0.30
E : 2140673 kp/cm²
f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

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

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

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

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:

h : 0.481 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.725, 5.000, 8.193, 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}⁺ : 0.780 t·m

Para flexión negativa:

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

M_{Ed}⁻ : 0.000 t·m

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

M_{c,Rd} : 1.621 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} : 60.70 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

g_{m0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

g_{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:

$$h : \underline{0.072} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.725, 5.000, 8.193, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(270^\circ)$ H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.698} \quad t$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{9.703} \quad t$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{6.30} \quad \text{cm}^2$$

Siendo:

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

$$A : \underline{13.20} \quad \text{cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{64.00} \quad \text{mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{6.30} \quad \text{mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.40} \quad \text{mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{7.00} \quad \text{mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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:

$$21.23 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{21.23}$$

$I_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$I_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

e: Factor de reducción.

e : 0.92

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a 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 $V_{c,Rd}$.

0.205 t £ 4.852 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.833 m del nudo 0.725, 10.000, 8.193, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(270^\circ)$ H1.

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

V_{Ed} : 0.205 t

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

$V_{c,Rd}$: 9.703 t

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

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

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

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

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

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

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

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

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

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

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

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

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 70.51 %

Coordenadas del nudo inicial: 29.275, 55.000, 8.193

Coordenadas del nudo final: 29.275, 60.000, 8.193

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis $1.00 \cdot G1 + 1.00 \cdot G2 + 1.00 \cdot Q + 1.00 \cdot N(EI) + 1.00 \cdot V(180^\circ)$ H4 a una distancia 2.500 m del origen en el primer vano de la correa.

($I_y = 318 \text{ cm}^4$) ($I_z = 28 \text{ cm}^4$)

6.1.2. Correas laterales

Para el estudio de las correas laterales se ha elegido un perfil IPE 120 con una separación de 1,5 m y un acero S275. Una vez seleccionado estos parámetros, el programa nos proporciona un listado de perfiles admisibles con su porcentaje correspondiente de aprovechamiento y peso. Finalmente se opta por el mencionado IPE 120.

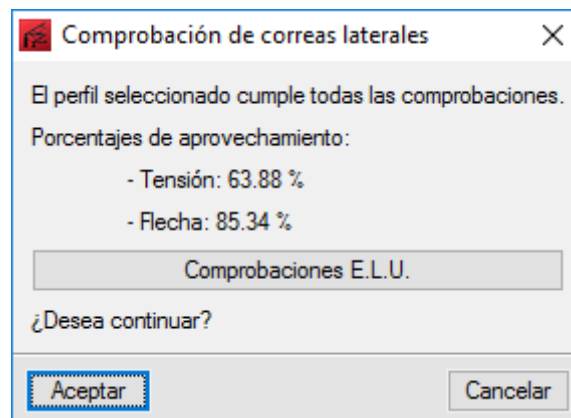


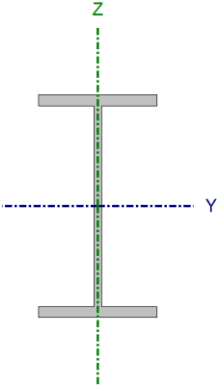
Figura 52. Comprobación de correas laterales.

A continuación, se muestran las comprobaciones de resistencia y flecha:

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Aprovechamiento: 63.88 %

Barra pésima en lateral

Perfil: IPE 120 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, 5.000, 0.750	0.000, 0.000, 0.750	5.000	13.20	318.00	27.70	1.74		
	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.				
b	0.00	1.00	0.00	0.00					
L _K	0.000	5.000	0.000	0.000					
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000					
C ₁	-			1.000					
Notación: b: 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
pésima en lateral	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\lambda_w \leq \lambda_{w, \text{máx}}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 63.9$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta = 11.7$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE $\eta = 63.9$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (3) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (5) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (6) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) 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. (8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (9) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (10) 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 comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

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:

24.41 £ 248.01 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.
t_w: Espesor del alma.
A_w: Área del alma.

h_w : 107.40 mm
t_w : 4.40 mm
A_w : 4.73 cm²

$A_{fc,ef}$: 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:

$$A_{fc,ef} : \underline{4.03} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

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

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

Resistencia a tracción (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:

$$h : \underline{0.639} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 5.000, 0.750, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(270^\circ)$ H1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.035} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

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

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.621} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{60.70} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

g_{m0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$g_{m0} : \underline{1.05}$$

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{0.117} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 5.000, 0.750, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(270^\circ)$ H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{1.133} \quad t$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{9.703} \quad t$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{6.30} \quad \text{cm}^2$$

Siendo:

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

$$A : \underline{13.20} \quad \text{cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{64.00} \quad \text{mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{6.30} \quad \text{mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.40} \quad \text{mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{7.00} \quad \text{mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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:

$$21.23 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{21.23}$$

$I_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$I_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

e: Factor de reducción.

e : 0.92

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a 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 $V_{c,Rd}$.

1.133 t \leq 4.852 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo 0.000, 5.000, 0.750, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(270^\circ)$ H1.

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

V_{Ed} : 1.133 t

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

$V_{c,Rd}$: 9.703 t

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

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

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

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

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

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

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

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

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

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

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

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

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 85.34 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.000, 5.000, 0.750

Coordenadas del nudo final: 0.000, 0.000, 0.750

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis $1.00 \cdot G1 + 1.00 \cdot G2 + 1.00 \cdot V(270^\circ)$ H1 a una distancia 2.500 m del origen en el segundo vano de la correa.

($I_y = 318 \text{ cm}^4$) ($I_z = 28 \text{ cm}^4$)

7. CYPE 3D

Ya diseñado el pórtico tipo y calculadas las correas, se exporta la obra realizada mediante el “Generador de Pórticos” al “CYPE 3D”. Se deben detallar principalmente algunas condiciones:

- Pórticos biempotrados.
- Pandeo en pórticos traslacionales.
- Generación de pórticos 3D.
- No agrupar planos.

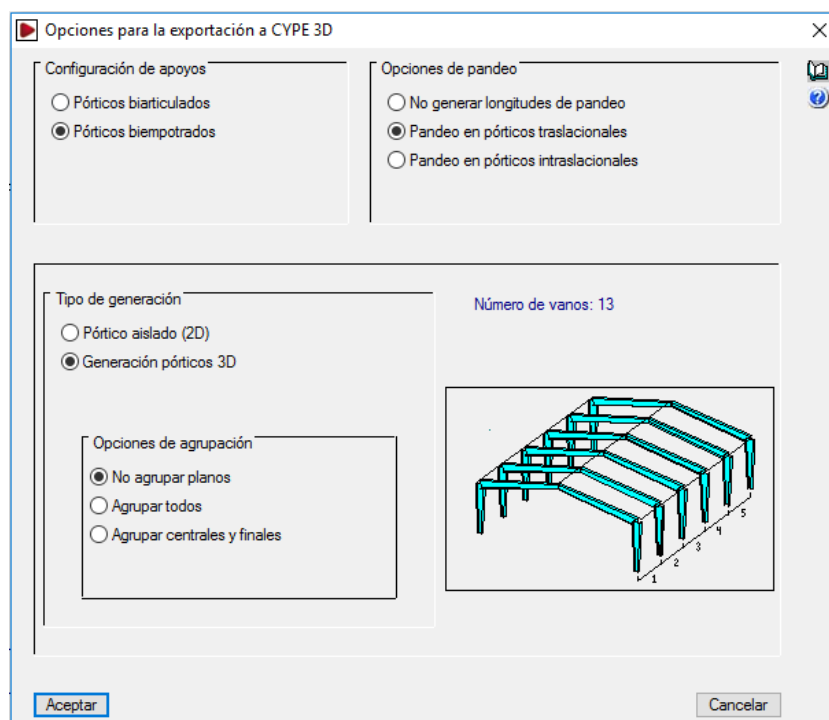


Figura 53. Opciones para la exportación 3D.

Al exportar la obra, se procede a añadir los nudos y barras correspondientes como son las ménsulas donde vana apoyadas las vigas carril del puente grúa, las cruces de San Andrés, dinteles de las puertas, pilarillos y vigas de atado.

Existen 13 pórticos, los hastiales son llamados a el trasero y frontal, estos son diferentes. Los pórticos situados desde la segunda a novena posición se diferencian de los demás por tener colocadas las mensulas para el puente grúa en los pilares.

Una vez introducido todos los datos, la geometría de la nave sería esta:

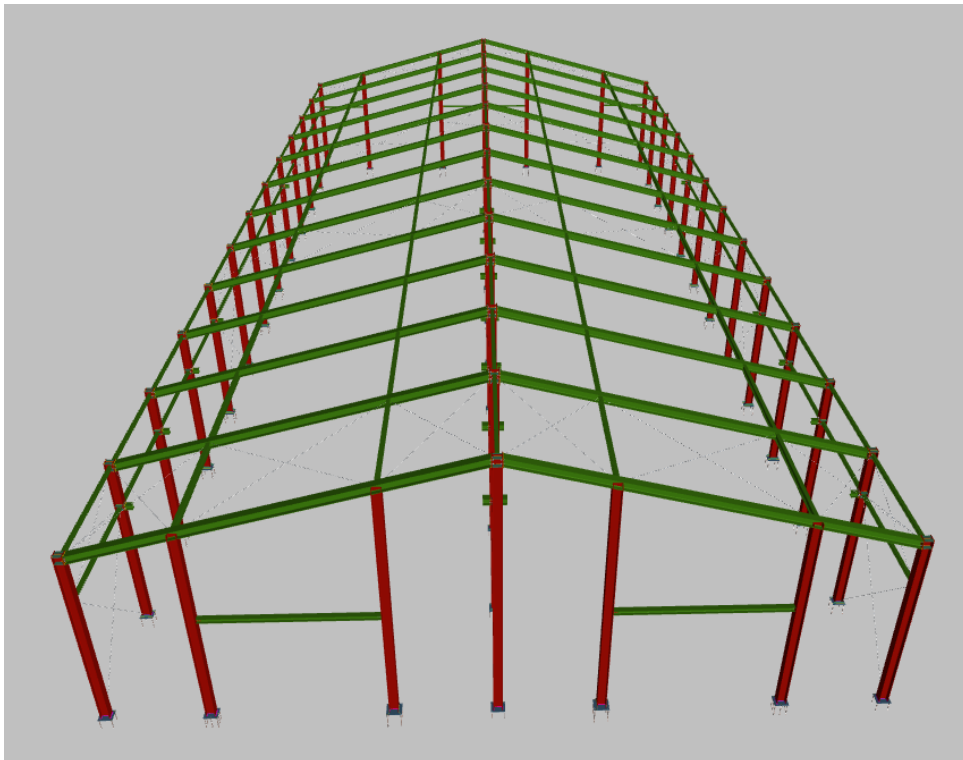


Figura 54. Geometría de la nave 1.

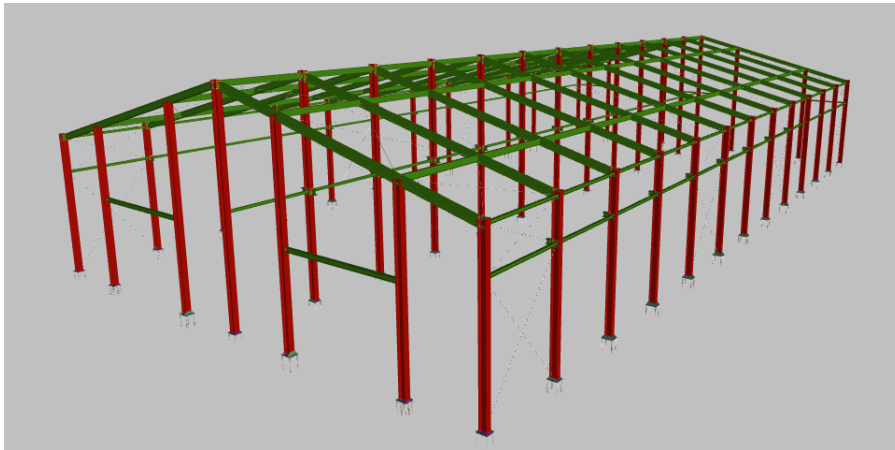


Figura 55. Geometría de la nave 2.

7.1. Pandeo

El pandeo trata de una falta de estabilidad global o local, es decir, el fallo por pandeo puede ocurrir en la totalidad de la estructura o en un solo componente. Es un fenómeno que depende de las características geométricas del perfil de la barra. Condiciona a piezas sometidas a compresión, y limita su capacidad portante ya que trata en deformar la barra con la carga y pierde su forma máxima de resistencia.

Para su cálculo, se tiene que definir el valor del coeficiente β , el cual depende de los tipos de unión del elemento en sus extremos. Es un valor igual o mayor a 0 que pondera la longitud de la barra, o longitud de pandeo. Esta longitud será la distancia que hay entre los dos puntos de inflexión consecutivos de una deformada para ese plano de pandeo.

Las cruces de San Andrés son tirantes que trabajan a tracción, por lo tanto, no sufren este fenómeno.

Se define esta estructura con carácter traslacional en el plano del pórtico e intraslacional en su perpendicular, gracias a la rigidez de los elementos secundarios.

7.2. Coeficientes de pandeo

Para la asignación de los coeficientes de pandeo, hay que tener en cuenta cual se considera el plano débil y cual el plano fuerte en una barra. El plano débil siempre se considera el paralelo a las alas de la barra, que pasaría por su eje de gravedad. El

programa CYPE considera el plano débil como el plano x-y de la barra, y el plano fuerte como el plano x-z de la barra (este último coincide con el alma de las barras).

Para asignar los coeficientes de las barras se debe acceder a esta pestaña, en la cual se puede variar la longitud de pandeo de cada barra en su plano x-y y en su plano x-z, además de poder seleccionar su coeficiente.

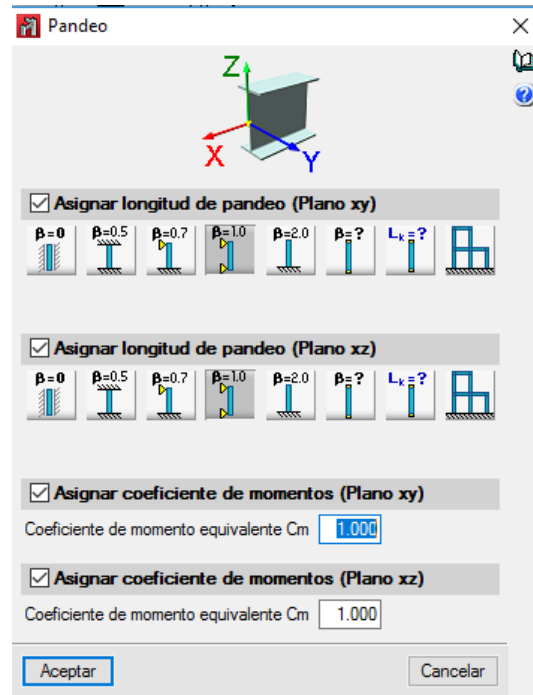


Figura 56. Longitud de pandeo.

- Pilares laterales:

En el plano de inercia débil (x-y) se le asigna como longitud de pandeo la distancia que hay entre correas, por lo tanto 1,50 metros ($L_k = 1,5 \text{ m}$).

En el plano fuerte (x-z) los pilares se encuentran biempotrados y el otro extremo se considerará como articulado, por lo tanto, le corresponde un coeficiente de pandeo de 0,7 desde el suelo hasta la ménsula, y 1 para la zona superior.

- Pilares del pórtico hastial:

En el plano de inercia débil (x-y) se le asigna como longitud de pandeo la distancia que hay entre correas, por lo tanto 1,50 metros ($L_k = 1,5$ m).

En el plano fuerte (x-z) de los pilares centrales de los pórticos hastiales se considera un coeficiente de pandeo 0,7 hasta los dinteles y 1 para la zona superior.

- Pilares centrales de los pórticos:

En el plano de inercia débil (x-y) se le asigna un coeficiente de pandeo de 0,7 hasta las ménsulas y 1 para la zona superior.

En el plano fuerte (x-z) los pilares se encuentran biempotrados y el otro extremo se considerará como articulado, por lo tanto, le corresponde un coeficiente de pandeo de 0,7 desde el suelo hasta la ménsula, y 1 para la zona superior.

- Vigas de atado:

Ya sean las vigas de atado en las uniones con las ménsulas, como las vigas de atado de cabeza de pilares dentro del plano débil (x-y) van a tener un coeficiente de pandeo de valor 0, debido al cerramiento de la cubierta y fachada que impedirá su pandeo.

En el plano fuerte (x-z) van a tener un coeficiente de pandeo de valor 1, ya que serán barras biarticuladas.

- Dinteles:

Al igual que las vigas de atado, su coeficiente de pandeo en el plano xy será nulo.

En el plano fuerte (x-z) el valor del coeficiente de pandeo será de 1.

- Ménsulas:

En el plano de inercia débil (x-y) el coeficiente de pandeo será de valor 1, ya que se considera una barra biempotrada traslacional entre viga carril y pilar.

En el plano fuerte (x-z) se le asigna un coeficiente de 2, de ahí su nombre Ménsula.

7.3. Flecha límite

Las barras deben de ser limitadas respecto a la máxima deformación que puedan tomar. Por lo tanto, se limitarán las flechas máximas en los planos de las barras sometidas a flexión, que es el plano en el que van a dominar las cargas.

Para ello se deberá acceder a la siguiente ventana del programa CYPE 3D:

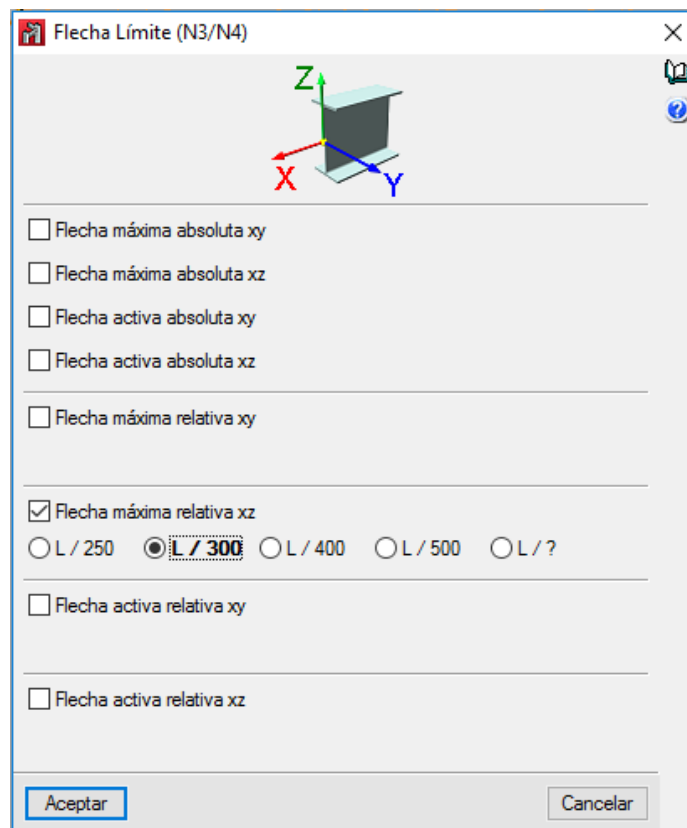


Figura 57. Flecha límite.

Todas las vigas deberán limitarse con una flecha máxima de $L/300$.

Una vez calculados todas las flechas de las vigas, se comprobarán los desplazamientos transversales que sufren los pilares. Estos se limitarán con una flecha límite máxima de $L/250$.

Una vez establecidos los límites, el programa se encarga de compararlos con las deformaciones de todas las barras para ver si aguantan a la perfección.

7.4. Cargas

Una de las ventajas de calcular una estructura con CYPE 3D es la introducción automática de todas las cargas desde “Generador de pórticos”. En este caso, solo se añadirán las cargas más críticas del puente grúa.

Estas serán las cargas a soportar por la estructura:

- Carga permanente:

Presente en toda la vida útil de la nave. Se consideran como cargas permanentes el peso propio de cada una de las barras. En caso de colocar un forjado para una planta también habría que añadirlo, pero no es el caso.

- Sobrecarga de uso:

Es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio. Pueden considerarse pesos propios de trabajadores de mantenimiento que se coloquen encima de la estructura, o pesos de los materiales que se transportan con la grúa puente.

Para el primer caso, el código técnico estructural define esta estructura como categoría de uso G1.

Para el segundo caso se definen las fuerzas del puente grúa en diferentes posiciones, pero se utilizan las más críticas para el cálculo de las barras. En este caso, la fuerza máxima vertical será de 244,42 kN, la fuerza mínima vertical de 47,92 kN y la fuerza transversal de 3,75 kN. Al ser dos grúas, se considerará como situación más crítica cuando las dos grúas se sitúan en el centro de la nave moviéndose hacia adelante o hacia atrás.

- Sobrecarga del viento:

El programa considera los siguientes casos de viento:

1 - V(0°) H1, Viento a 0°, presión exterior tipo 1 con succión interior.

2 - V(0°) H2, Viento a 0°, presión exterior tipo 1 con presión interior.

3 - V(0°) H3, Viento a 0°, presión exterior tipo 2 con succión interior.

4 - V(0°) H4, Viento a 0°, presión exterior tipo 2 con presión interior.

5 - V(90°) H1, Viento a 90° con succión interior.

6 - V(90°) H2, Viento a 90° con presión interior.

7 - V(180°) H1, Viento a 180°, presión exterior tipo 1 con succión interior.

8 - V(180°) H2, Viento a 180°, presión exterior tipo 1 con presión interior.

9 - V(180°) H3, Viento a 180°, presión exterior tipo 2 con succión interior.

10 - V(180°) H4, Viento a 180°, presión exterior tipo 2 con presión interior.

11 - V(270°) H1, Viento a 270° con succión interior.

12 - V(270°) H2, Viento a 270° con presión interior.

- Sobrecarga de nieve:

El programa tiene en cuenta tres casos distintos de nieve:

- Nieve posada simétricamente.
- Nieve posada en la parte derecha de la cubierta.
- Nieve posada en la parte izquierda de la cubierta.

Conocidos todos los datos el programa realiza los estudios de cálculo de la nave indicando los perfiles y uniones más óptimas.

7.5. Estado Límite Último de las barras (E.L.U.)

7.5.1. Pilares

Perfil: HE 360 B Material: Acero (S355)						
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					
N51	N97	6.000	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.	
		□	0.70	0.25	1.00	0.25
		L _k	4.200	1.500	6.000	1.500
		C _m	1.000	1.000	1.000	1.000
		C ₁	-		1.000	
Notación: □: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						
Situación de incendio						
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 108.67 m-1 Temperatura máx. de la barra: 640.5 °C Pintura intumescente: 0.6 mm						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE														Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_{w}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y
N51/N97	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 5.889 m $\eta = 0.8$	x: 0 m $\eta = 3.6$	x: 0 m $\eta = 14.5$	x: 0 m $\eta = 5.2$	x: 0 m $\eta = 3.3$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 16.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 3.3$	$\eta = 0.1$
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		
N51/N97	N _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 4.2$	x: 5.89 m $\eta = 18.5$	x: 0 m $\eta = 4.5$	x: 5.89 m $\eta = 3.4$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 5.89 m $\eta = 21.5$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.2$	x: 0 m $\eta = 2.5$	$\eta = 0.1$		
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.															
Notación: N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															

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

La esbeltez reducida □□ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

□□ : 0.72 ✓

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 : 180.60 cm²

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1214.477 t

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

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

N_{cr,y} : 40555.590 t

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

N_{cr,z} : 1214.477 t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 1390.856 t

Donde:

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

I_y : 43190.00 cm⁴

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

I_z : 10140.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 292.50 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 2883000.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

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

L_{ky} : 1.500 m

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

L_{kz} : 4.200 m

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

L_{kt} : 6.000 m

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

i_o : 17.18 cm

Siendo:

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

i_y : 15.46 cm

i_z : 7.49 cm

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

y_o : 0.00 mm

z_o : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

25.20 139.47

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>315.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>12.50</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>39.38</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>67.50</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>3516.82</u> kp/cm ²
Siendo:	

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.889 m del nudo N51, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	$N_{t,Ed}$: <u>5.022</u> t
--	-----------------------------

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

$$N_{t,Rd} : \underline{604.893} \text{ t}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>180.60</u> cm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>3349.35</u> kp/cm ²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>3516.82</u> kp/cm ²
\square_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	\square_{MO} : <u>1.05</u>

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.026} \quad \checkmark$$

$$\square : \underline{0.036} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones 1.35-PP+1.5-Q.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{15.621} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{604.893} \text{ t}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{180.60} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3349.35} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{429.655} \text{ t}$$

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.

$$f_{yd} : \underline{3349.35} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

\square_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

\square : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\square_y : \underline{1.00}$$

$$\square_z : \underline{0.71}$$

$$\square_T : \underline{0.74}$$

Siendo:

$$\square_y : \underline{0.50}$$

$$\square_z : \underline{0.89}$$

$$\square_T : \underline{0.84}$$

\square : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\square_y : \underline{0.34}$$

$$\square_z : \underline{0.49}$$

$$\square_T : \underline{0.49}$$

λ_{λ} : Esbeltez reducida.

$$\lambda_{\lambda y} : 0.13$$

$$\lambda_{\lambda z} : 0.72$$

$$\lambda_{\lambda T} : 0.68$$

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

$$N_{cr} : 1214.477 \text{ t}$$

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

$$N_{cr,y} : 40555.590 \text{ t}$$

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

$$N_{cr,z} : 1214.477 \text{ t}$$

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

$$N_{cr,T} : 1390.856 \text{ t}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\sigma : 0.136 \quad \checkmark$$

$$\sigma : 0.145 \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$M_{Ed}^+ : 10.484 \text{ t·m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H3+0.75·N(EI).

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

$$M_{Ed}^- : 12.259 \text{ t·m}$$

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

$$M_{c,Rd} : 89.863 \text{ t·m}$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : 1$$

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

$$W_{pl,y} : 2683.00 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 3349.35 \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : 3516.82 \text{ kp/cm}^2$$

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

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

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

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

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{72.346} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{b,Rd}^- : \underline{89.033} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$W_{pl,y} : \underline{2683.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3349.35} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

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

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

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

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

Siendo:

$$\alpha_{LT}^+ : \underline{0.87}$$

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

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

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

$\alpha\alpha_{LT}$: Esbeltez reducida.

$$\alpha\alpha_{LT}^+ : \underline{0.78}$$

$$\alpha\alpha_{LT}^- : \underline{0.24}$$

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

$$M_{cr}^+ : \underline{153.755} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{cr}^- : \underline{1613.264} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

Siendo:

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

$$M_{LTv}^+ : \underline{119.885} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTv}^- : \underline{479.539} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{LTw}^+ : \underline{96.272} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTw}^- : \underline{1540.346} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

W_{el,y} : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.	W_{el,y} : <u>2399.44</u> cm ³
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
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>825688</u> kp/cm ²
L_{c+} : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.	L_{c+} : <u>6.000</u> m
L_{c-} : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.	L_{c-} : <u>1.500</u> m
C₁ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.	C₁ : <u>1.00</u>
i_{r,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_{r,z+} : <u>8.27</u> cm
	i_{r,z-} : <u>8.27</u> cm

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

Se debe satisfacer:

: 0.052 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1+0.75·N(R)2.

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

M_{Ed+} : 1.799 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

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

M_{Ed-} : 1.810 t·m

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

M_{c,Rd} : 34.565 t·m

Donde:

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

Clase : 1

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

W_{pl,z} : 1032.00 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3349.35 kp/cm²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>3516.82</u> kp/cm ²
γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{Mo} : <u>1.05</u>

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

Se debe satisfacer:

$$\sigma : \underline{0.033} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{3.835} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{117.113} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{60.56} \text{ cm}^2$$

Siendo:

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

$$A : \underline{180.60} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{300.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{22.50} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{27.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3349.35} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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:

$$20.88 \leq 57.77 \quad \checkmark$$

Donde:

γ_w : Esbeltez del alma.

$$\gamma_w : \underline{20.88}$$

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

$$\gamma_{m\acute{a}x} : \underline{57.77}$$

γ : Factor de reducción.

$$\gamma : \underline{0.83}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

: 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

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

V_{Ed} : 0.296 t

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

$V_{c,Rd}$: 273.094 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 141.23 cm²

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} : 3349.35 kp/cm²

Siendo:

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

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 $V_{c,Rd}$.

3.835 t 58.556 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^{ésimos} se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo p^{ésimo}. $V_{Ed} : \underline{3.835} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{117.113} \text{ t}$

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

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

$0.296 \text{ t} \leq 136.547 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^{ésimos} se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo p^{ésimo}. $V_{Ed} : \underline{0.296} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{273.094} \text{ t}$

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

Se debe satisfacer:

$\square : \underline{0.154}$ ✓

$\square : \underline{0.154}$ ✓

$\square : \underline{0.161}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^{ésimos} se producen en el nudo N51, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H4+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo p^{ésimo}. $N_{c,Ed} : \underline{10.806} \text{ t}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo p^{ésimos}, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed} : \underline{12.242} \text{ t·m}$

$M_{z,Ed} : \underline{0.005} \text{ t·m}$

Clase : $\underline{1}$

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

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{604.893 \text{ t}}$$

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

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{89.863 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{34.565 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

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

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{180.60 \text{ cm}^2}$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: 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.

$$f_{yd} : \underline{3349.35 \text{ kp/cm}^2}$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3516.82 \text{ kp/cm}^2}$$

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

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

k_y , k_z , $k_{y,LT}$: Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z : \underline{1.02}$$

$$k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

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

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

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

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

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

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{0.71}$$

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

$$\chi_{LT} : \underline{1.00}$$

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

$$\eta_y : \underline{0.13}$$

$$\eta_z : \underline{0.72}$$

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

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

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

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

3.835 t 58.554 t 

Donde:

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


$V_{Ed,z}$: 3.835 t

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

$V_{c,Rd,z}$: 117.109 t

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

Se debe satisfacer:

: 0.002 

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

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

$M_{T,Ed}$: 0.005 t·m

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

$M_{T,Rd}$: 2.514 t·m

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 130.00 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3349.35 kp/cm²

Siendo:

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


f_y : 3516.82 kp/cm²

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

α_{Mo} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

: 0.033 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N51, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

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

V_{Ed} : 3.835 t

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

$M_{T,Ed}$: 0.000 t·m

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{117.109} \text{ t}$$

Donde:

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

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{117.113} \text{ t}$$

$$\alpha_{T,Ed} : \underline{0.16} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{130.00} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{3349.35} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

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

Se debe satisfacer:

$$\alpha : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

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

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

$$V_{Ed} : \underline{0.296} \text{ t}$$

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

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{272.880} \text{ t}$$

Donde:

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

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{273.094} \text{ t}$$

$$\alpha_{T,Ed} : \underline{3.79} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{130.00} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{3349.35} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

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:

$$\sigma : \underline{0.025} \quad \checkmark$$

$$\sigma : \underline{0.042} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H4.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{5.861} \quad t$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{236.760} \quad t$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{180.60} \quad \text{cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{1310.96} \quad \text{kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_{y,\square} : \underline{1310.96} \quad \text{kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{3516.82} \quad \text{kp/cm}^2$$

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

$$k_{y,\square} : \underline{0.37}$$

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{139.292} \quad t$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

A : 180.60 cm²
f_{yd} : 1310.96 kp/cm²

Siendo:

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

f_{y,σ} : 1310.96 kp/cm²

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

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

k_{y,σ} : 0.37

σ_{m,σ}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

σ_{m,σ} : 1.00

σ: Coeficiente de reducción por pandeo.

σ_y : 1.00

σ_z : 0.59

σ_T : 0.63

Siendo:

σ_y : 0.50

σ_z : 1.10

σ_T : 1.03

σ: Coeficiente de imperfección elástica.

σ_y : 0.49

σ_z : 0.49

σ_T : 0.49

σ_σ: Esbeltez reducida.

σ_σ_y : 0.16

σ_σ_z : 0.92

σ_σ_T : 0.86

k_{σ,σ}: Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.

k_{σ,σ} : 1.27

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

N_{cr} : 1214.477 t

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

N_{cr,y} : 40555.590 t

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

N_{cr,z} : 1214.477 t

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

N_{cr,T} : 1390.856 t

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

Se debe satisfacer:

σ : 0.100 ✓

$$\square : \underline{0.185} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.890 m del nudo N51, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H4.

$$M_{Ed}^+ : \underline{3.525} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{35.173} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase :** 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y} : \underline{2683.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. $k_{y,\square} : \underline{0.37}$

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

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:

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{19.088} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{b,Rd}^- : \underline{33.254} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y} : \underline{2683.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
 $k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico
para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_y : \frac{3516.82}{0.37} \text{ kp/cm}^2$$

$\square_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\square_{M,\square} : \frac{1.00}{1.00}$$

\square_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\square_{LT^+} : \frac{0.54}{0.54}$$

$$\square_{LT^-} : \frac{0.95}{0.95}$$

Siendo:

$$\square_{LT^+} : \frac{1.19}{1.19}$$

$$\square_{LT^-} : \frac{0.57}{0.57}$$

\square_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\square_{LT} : \frac{0.49}{0.49}$$

$\square\square_{LT}$: Esbeltez reducida.

$$\square\square_{LT^+} : \frac{1.00}{1.00}$$

$$\square\square_{LT^-} : \frac{0.31}{0.31}$$

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

$$k_{\square,\square} : \frac{1.27}{1.27}$$

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

$$M_{cr^+} : \frac{153.755}{153.755} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{cr^-} : \frac{1613.264}{1613.264} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

Siendo:

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

$$M_{LTV^+} : \frac{119.885}{119.885} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV^-} : \frac{479.539}{479.539} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{LTW^+} : \frac{96.272}{96.272} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW^-} : \frac{1540.346}{1540.346} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

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

$$W_{el,y} : \frac{2399.44}{2399.44} \text{ cm}^3$$

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

$$I_z : \frac{10140.00}{10140.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \frac{292.50}{292.50} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

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

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \frac{825688}{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{c^+} : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_{c^+} : \frac{6.000}{6.000} \text{ m}$$

L_{c^-} : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_{c^-} : \frac{1.500}{1.500} \text{ m}$$

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

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{r,z}$: 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.

$$i_{r,z}^+ : \underline{8.27} \text{ cm}$$

$$i_{r,z}^- : \underline{8.27} \text{ cm}$$

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:

$$\square : \underline{0.045} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.602} \text{ t·m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N51, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.599} \text{ t·m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \underline{13.529} \text{ t·m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{1032.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_{y,\square} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$k_{y,\square} : \underline{0.37}$$

$\square_{m,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\square_{m,\square} : \underline{1.00}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.890 m del nudo N51, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H4.

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

$$V_{Ed} : \underline{1.550} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{45.839} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{60.56} \text{ cm}^2$$

Siendo:

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

$$A : \underline{180.60} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{300.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{22.50} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{27.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_{y,\square} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$k_{y,\square} : \underline{0.37}$$

$\square_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\square_{M,\square} : \underline{1.00}$$

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:

$$20.88 \square \underline{57.77} \quad \checkmark$$

Donde:

\square_w : Esbeltez del alma.

$$\square_w : \underline{20.88}$$

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

$$\square_{\text{máx}} : \underline{57.77}$$

α : Factor de reducción.

α : 0.83

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

α : 0.001 ✓

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

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

V_{Ed} : 0.098 t

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

$V_{c,Rd}$: 106.891 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 141.23 cm²

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} : 1310.96 kp/cm²

Siendo:

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

$f_{y,\alpha}$: 1310.96 kp/cm²

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

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

$k_{y,\alpha}$: 0.37

m_{α} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

m_{α} : 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 $V_{c,Rd}$.

1.454 t 22.919 t 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 1.454 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: 45.839 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

0.098 t 53.445 t 


Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.


V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.098 t


$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: 106.891 t

Resistencia a flexión y axil combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

: 0.119 

: 0.203 

: 0.215 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 5.890 m del nudo N51, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H4.

Donde:

N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : <u>4.308</u> t
M_{y,Ed}, M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} : <u>3.525</u> t·m M_{z,Ed} : <u>0.006</u> t·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>236.760</u> t
M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : <u>35.173</u> t·m M_{pl,Rd,z} : <u>13.529</u> t·m
Resistencia a pandeo : (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)	
A : Área de la sección bruta.	A : <u>180.60</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>2683.00</u> cm ³ W_{pl,z} : <u>1032.00</u> cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>1310.96</u> kp/cm ²

Siendo:

f_{y,□} : Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.	f_{y,□} : <u>1310.96</u> kp/cm ²
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>3516.82</u> kp/cm ²
k_{y,□} : Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.	k_{y,□} : <u>0.37</u>
□_{M,□} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	□_{M,□} : <u>1.00</u>

k_y, k_z, k_{y,LT}: Coeficientes de interacción.

k_y : <u>1.00</u>
k_z : <u>1.04</u>
k_{y,LT} : <u>1.00</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>

□_y, □_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

□_y : <u>1.00</u>
□_z : <u>0.59</u>

□_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

□_{LT} : <u>0.54</u>

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

□□_y : <u>0.16</u>
□□_z : <u>0.92</u>

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

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

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

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H3.

$$1.454 \text{ t} \leq 22.919 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{1.454} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{45.839} \text{ t}$$

Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\alpha : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

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

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} : \underline{0.984} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{130.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_{y,\alpha} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$k_{y,\alpha} : \underline{0.37}$$

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

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

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:

$$\square : \underline{0.025} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N51, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{1.163} \text{ t}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{45.808} \text{ t}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{45.839} \text{ t}$$

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

$$\square_{T,Ed} : \underline{1.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{130.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_{y,\square} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$k_{y,\square} : \underline{0.37}$$

$\square_{m,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\square_{m,\square} : \underline{1.00}$$

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:

$$\square : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.098} \text{ t}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{106.820} \text{ t}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{106.891} \text{ t}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{1.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{130.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_{y,\square} : \underline{1310.96} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$k_{y,\square} : \underline{0.37}$$

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

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

7.5.2. Vigas de los pórticos

Perfil: HE 340 B Material: Acero (S355)						
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					
N156	N167	7.245	170.90	36660.00	9690.00	257.20
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.	
\square		0.50	0.21	0.00	0.00	
L _K		3.622	1.500	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: \square : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						
Situación de incendio						
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 112.73 m ⁻¹ Temperatura máx. de la barra: 652.0 °C Pintura intumescente: 0.6 mm						

COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE																
Barra	$\bar{\lambda}$	λ_{sw}	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	Estado
N156/N167	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,máx}$ Cumple	x: 7.245 m $\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 1.4$	x: 2.717 m $\eta = 15.2$	x: 7.245 m $\eta = 1.1$	x: 7.245 m $\eta = 4.0$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 2.717 m $\eta = 16.3$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.1$	x: 7.245 m $\eta = 2.2$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 16.3$
COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO																
Barra	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	Estado		
N156/N167	x: 7.245 m $\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 1.7$	x: 2.717 m $\eta = 17.6$	x: 7.245 m $\eta = 1.1$	x: 7.245 m $\eta = 4.6$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 2.717 m $\eta = 18.8$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.1$	x: 7.245 m $\eta = 2.2$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 18.8$		
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 (%)																

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_{sw} de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

λ_{sw} : 0.62 ✓

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** : 170.90 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 3516.82 kp/cm²

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{1560.282} \text{ t}$$

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

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

$$N_{cr,y} : \underline{34423.892} \text{ t}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{1560.282} \text{ t}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\quad \square \quad}$$

Donde:

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

$$I_y : \underline{36660.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{9690.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{257.20} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{2454000.00} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

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

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$L_{ky} : \underline{1.500} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{3.622} \text{ m}$$

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

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

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

$$i_o : \underline{16.47} \text{ cm}$$

Siendo:

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

$$i_y : \underline{14.65} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{7.53} \text{ cm}$$

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

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

Se debe satisfacer:

$$24.75 \square 135.74 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>297.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>12.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>35.64</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>64.50</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>3516.82</u> kp/cm ²
Siendo:	

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$$N_{t,Ed}: \text{Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{t,Ed} : \underline{6.575} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} : \underline{572.404} \text{ t}$$

Donde:

$$A: \text{Área bruta de la sección transversal de la barra.} \quad A : \underline{170.90} \text{ cm}^2$$

$$f_{yd}: \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{yd} : \underline{3349.35} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_y: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

$$\square_{Mo}: \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \square_{Mo} : \underline{1.05}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

$$\square : \underline{0.014} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N156, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H4+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 6.006 t

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

$N_{c,Rd}$: 572.404 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 170.90 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 3349.35 kp/cm²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 3516.82 kp/cm²

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

$N_{b,Rd}$: 442.514 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 170.90 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 3349.35 kp/cm²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 3516.82 kp/cm²

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : 1.00

χ_z : 0.77

Siendo:

η_y : 0.50

η_z : 0.80

α : Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.34

α_z : 0.49

λ : Esbeltez reducida.

λ_y : 0.13

λ_z : 0.62

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

N_{cr} : 1560.282 t

N_{cr,y} : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.	N_{cr,y} : <u>34423.892</u> t
N_{cr,z} : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	N_{cr,z} : <u>1560.282</u> t
N_{cr,T} : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	N_{cr,T} : <u>□</u>

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

Se debe satisfacer:

: 0.152 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.717 m del nudo N156, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H4+0.75·N(R)2.

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

M_{Ed}⁺ : 12.251 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.717 m del nudo N156, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

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

M_{Ed}⁻ : 6.051 t·m

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

M_{c,Rd} : 80.652 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} : 2408.00 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3349.35 kp/cm²

Siendo:

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

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

γ_{MO} : 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:

: 0.011 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(R)2.

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

M_{Ed}⁺ : 0.373 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

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

M_{Ed}⁻ : 0.376 t·m

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

M_{c,Rd} : 33.015 t·m

Donde:

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

Clase : 1

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

W_{pl,z} : 985.70 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3349.35 kp/cm²

Siendo:

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

γ_{m0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{m0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

: 0.040 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H4+0.75·N(EI).

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

V_{Ed} : 4.335 t

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

V_{c,Rd} : 108.464 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 56.09 cm²

Siendo:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>170.90</u> cm ²
b: Ancho de la sección.	b : <u>300.00</u> mm
t_f: Espesor del ala.	t_f : <u>21.50</u> mm
t_w: Espesor del alma.	t_w : <u>12.00</u> mm
r: Radio de acuerdo entre ala y alma.	r : <u>27.00</u> mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd} :** 3349.35 kp/cm²

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>3516.82</u> kp/cm ²
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

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

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

20.25 **57.77** ✓

Donde:

γ_w: Esbeltez del alma.	γ_w : <u>20.25</u>
γ_{máx}: Esbeltez máxima.	γ_{máx} : <u>57.77</u>
γ: Factor de reducción.	γ : <u>0.83</u>

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.	f_{ref} : <u>2395.51</u> kp/cm ²
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>3516.82</u> kp/cm ²

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

Se debe satisfacer:

< **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed} :** 0.028 t

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

$$V_{c,Rd} : \underline{261.559} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{135.26} \text{ cm}^2$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{170.90} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{297.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{12.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3349.35} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

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

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

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

$$2.835 \text{ t} \square 54.232 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{2.835} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{108.464} \text{ t}$$

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

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

$$0.028 \text{ t} \square 130.779 \text{ t}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.028} \text{ t}$$

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

$V_{c,Rd}$: 261.559 t

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

Se debe satisfacer:

: 0.163 ✓

: 0.162 ✓

: 0.105 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.717 m del nudo N156, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H4+0.75·N(R)2.

Donde:

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

$N_{c,Ed}$: 5.683 t

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

$M_{y,Ed}^*$: 12.251 t·m

$M_{z,Ed}^*$: 0.024 t·m

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

Clase : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd}$: 572.404 t

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

$M_{pl,Rd,y}$: 80.652 t·m

$M_{pl,Rd,z}$: 33.015 t·m

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

A: Área de la sección bruta.

A : 170.90 cm²

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

$W_{pl,y}$: 2408.00 cm³

$W_{pl,z}$: 985.70 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3349.35 kp/cm²

Siendo:

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

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

γ_{M1} : 1.05

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

k_y : 1.00

k_z : 1.01

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

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

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

η_y , η_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\eta_y : \underline{1.00}$$

$$\eta_z : \underline{0.77}$$

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

$$\chi_y : \underline{0.13}$$

$$\chi_z : \underline{0.62}$$

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

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

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

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2$.

$$2.835 \text{ t} \leq 54.232 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{2.835 \text{ t}}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{108.464 \text{ t}}$$

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2$.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.003 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

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

$$M_{T,Rd} : \underline{2.313 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{119.63 \text{ cm}^3}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3349.35 \text{ kp/cm}^2}$$

Siendo:

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

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

γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

: 0.022 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N167, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

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

V_{Ed} : 2.392 t

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

$M_{T,Ed}$: 0.003 t·m

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

$V_{pl,T,Rd}$: 108.417 t

Donde:

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

$V_{pl,Rd}$: 108.464 t

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

$\tau_{T,Ed}$: 2.10 kp/cm²

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 119.63 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3349.35 kp/cm²

Siendo:

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

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

γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

< 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : 0.028 \text{ t}$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed} : 0.003 \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$V_{pl,T,Rd} : 261.445 \text{ t}$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd} : 261.559 \text{ t}$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed} : 2.11 \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión. $W_T : 119.63 \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : 3349.35 \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : 3516.82 \text{ kp/cm}^2$

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

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

Se debe satisfacer:

$\tau : 0.009$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed} : 1.866 \text{ t}$

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

$N_{t,Rd} : 207.357 \text{ t}$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra. $A : 170.90 \text{ cm}^2$

$f_{y,d}$: Resistencia de cálculo del acero. $f_{y,d} : 1213.32 \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$f_{y,\tau}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\tau} : 1213.32 \text{ kp/cm}^2$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : 3516.82 \text{ kp/cm}^2$

$k_{y,\tau} : 0.35$

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

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

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

$\gamma_{M,\square}$: 0.011 ✓

$\gamma_{M,\square}$: 0.017 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N156, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H4.

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

$N_{c,Ed}$: 2.350 t

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

$N_{c,Rd}$: 207.357 t

Donde:

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

Clase : 1

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

A : 170.90 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 1213.32 kp/cm²

Siendo:

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

$f_{y,\square}$: 1213.32 kp/cm²

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

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

$k_{y,\square}$: 0.35

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

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

$N_{b,Rd}$: 137.860 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

A : 170.90 cm²
f_{yd} : 1213.32 kp/cm²

Siendo:

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

f_{y,σ} : 1213.32 kp/cm²

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

f_y : 3516.82 kp/cm²

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

k_{y,σ} : 0.35

σ_{m,σ}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

σ_{m,σ} : 1.00

σ: Coeficiente de reducción por pandeo.

σ_y : 1.00

σ_z : 0.66

Siendo:

σ_y : 0.51

σ_z : 0.96

σ: Coeficiente de imperfección elástica.

σ_y : 0.49

σ_z : 0.49

σ_σ: Esbeltez reducida.

σ_{σ_y} : 0.17

σ_{σ_z} : 0.80

k_{σ,σ}: Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.

k_{σ,σ} : 1.28

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

N_{cr} : 1560.282 t

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

N_{cr,y} : 34423.892 t

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

N_{cr,z} : 1560.282 t

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

N_{cr,T} : □

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

Se debe satisfacer:

σ : 0.176 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.717 m del nudo N156, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H4.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{Ed}^+ : 5.156 \text{ t}\cdot\text{m}$
Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{Ed}^- : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$
El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : 29.217 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y} : 2408.00 \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : 1213.32 \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square} : 1213.32 \text{ kp/cm}^2$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : 3516.82 \text{ kp/cm}^2$

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. $k_{y,\square} : 0.35$

$\alpha_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\alpha_{M,\square} : 1.00$

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:

$$\square : 0.011 \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{Ed}^+ : 0.126 \text{ t}\cdot\text{m}$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{Ed}^- : 0.122 \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$$M_{c,Rd} : 11.960 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase :** 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,z}$:** 985.70 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd} :** 1213.32 kp/cm²

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. **$f_{y,\square}$:** 1213.32 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y :** 3516.82 kp/cm²

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. **$k_{y,\square}$:** 0.35

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

$\gamma_{M,\square}$: 0.046 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H4.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed} :** 1.817 t

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

$V_{c,Rd}$: 39.292 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. **A_v :** 56.09 cm²

Siendo:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A :** 170.90 cm²

b: Ancho de la sección. **b :** 300.00 mm

t_f : Espesor del ala. **t_f :** 21.50 mm

t_w : Espesor del alma. **t_w :** 12.00 mm

r: Radio de acuerdo entre ala y alma. **r :** 27.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd} :** 1213.32 kp/cm²

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square} : \underline{1213.32}$ kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{3516.82}$ kp/cm²

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. $k_{y,\square} : \underline{0.35}$

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

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:

$20.25 \square 57.77$ ✓

Donde:

\square_w : Esbeltez del alma. $\square_w : \underline{20.25}$

$\square_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima. $\square_{m\acute{a}x} : \underline{57.77}$

\square : Factor de reducción. $\square : \underline{0.83}$

Siendo:

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

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{3516.82}$ kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

$\square < \underline{0.001}$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.010}$ t

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

$V_{c,Rd} : \underline{94.751}$ t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. $A_v : \underline{135.26}$ cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

A: 170.90 cm²

d: Altura del alma.

d: 297.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w: 12.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 1213.32 kp/cm²

Siendo:

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

f_{y,σ}: 1213.32 kp/cm²

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

f_y: 3516.82 kp/cm²

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

k_{y,σ}: 0.35

γ_m: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_m: 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}**.

1.188 t **19.646 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H4.

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

V_{Ed}: 1.188 t

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

V_{c,Rd}: 39.292 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

0.010 t **47.376 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.010} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{94.751} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.188} \quad \checkmark$$

$$\square : \underline{0.187} \quad \checkmark$$

$$\square : \underline{0.122} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.717 m del nudo N156, para la combinación de acciones $PP+0.5 \cdot V(0^\circ)H4$.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{2.187} \text{ t}$$

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

$$M_{y,Ed} : \underline{5.156} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.009} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{207.357} \text{ t}$$

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

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{29.217} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{11.960} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{170.90} \text{ cm}^2$$

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

$$W_{pl,y} : \underline{2408.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{985.70} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{1213.32} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_{y,\square} : \underline{1213.32} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$k_{y,\square} : \underline{0.35}$$

$\square_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\square_{M,\square} : \underline{1.00}$$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z : \underline{1.02}$$

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

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

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

η_y, η_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\eta_y : \underline{1.00}$$

$$\eta_z : \underline{0.66}$$

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

$$\chi_y : \underline{0.17}$$

$$\chi_z : \underline{0.80}$$

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

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

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

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H4.

$$1.188 \text{ t} \leq 19.646 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{1.188} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{39.292} \text{ t}$$

Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H2.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t·m}$$

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

$$M_{T,Rd} : \underline{0.838} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{119.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{1213.32} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_{y,\square} : \underline{1213.32} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$k_{y,\square} : \underline{0.35}$$

$\square_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\square_{M,\square} : \underline{1.00}$$

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:

$$\square : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N167, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H3.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.869} \text{ t}$$

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

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{39.290} \text{ t}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{39.292} \text{ t}$$

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

$$\square_{T,Ed} : \underline{0.09} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{119.63} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{1213.32} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_{y,\square} : \underline{1213.32} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 3516.82 kp/cm²

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. $k_{y,\square}$: 0.35

$\square_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\square_{M,\square}$: 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:

$\square < \underline{0.001}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.010 t

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: 0.001 t·m

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

$V_{pl,T,Rd}$: 94.713 t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd}$: 94.751 t

$\square_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\square_{T,Ed}$: 0.70 kp/cm²

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión. W_T : 119.63 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 1213.32 kp/cm²

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square}$: 1213.32 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 3516.82 kp/cm²

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. $k_{y,\square}$: 0.35

$\square_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\square_{M,\square}$: 1.00

7.5.3. Ménsula

Perfil: HE 300 B Material: Acero (S355)						
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					
N117	N118	0.500	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.		
□	2.00	2.00	0.00	0.00		
L _K	1.000	1.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: □: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						
Situación de incendio						
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 124.49 m-1 Temperatura máx. de la barra: 683.0 °C Pintura intumescente: 0.6 mm						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_{sw}	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
N117/N118	$\bar{\lambda} \leq 3.0$ Cumple	x: 0.16 m $\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,máx}$ Cumple	N _t = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N _c = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.32 m N.P. ⁽²⁾	M _z = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.32 m N.P. ⁽³⁾	V _z = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0.16 m N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.32 m N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.16 m N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.16 m N.P. ⁽⁵⁾	M _t = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE $\eta = 0.1$
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (6) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado		
	N _t	N _c	M _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			
N117/N118	N _t = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N _c = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.32 m $\eta < 0.1$	M _z = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0.32 m $\eta = 0.1$	V _z = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.16 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	M _t = 0.00 N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽⁹⁾	CUMPLE $\eta = 0.1$		
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (3) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (4) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (5) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) 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. (7) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (8) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (9) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Notación: N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																

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

La esbeltez reducida □□ de las barras traccionadas no debe superar el valor 3.0.

$$\square\square : \underline{0.17} \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : $\underline{149.10}$ cm ²
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : $\underline{3516.82}$ kp/cm ²
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.	N_{cr} : $\underline{18091.558}$ t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N_{cr,y} :** $\underline{53178.153}$ t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N_{cr,z} :** $\underline{18091.558}$ t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **N_{cr,T} :** $\underline{\square}$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y : $\underline{25170.00}$ cm ⁴
I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : $\underline{8563.00}$ cm ⁴
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : $\underline{185.00}$ cm ⁴
I_w: Constante de alabeo de la sección.	I_w : $\underline{1688000.00}$ cm ⁶
E: Módulo de elasticidad.	E : $\underline{2140673}$ kp/cm ²
G: Módulo de elasticidad transversal.	G : $\underline{825688}$ kp/cm ²
L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} : $\underline{1.000}$ m
L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} : $\underline{1.000}$ m
L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} : $\underline{0.000}$ m
i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i₀ : $\underline{15.04}$ cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y : $\underline{12.99}$ cm	i_z : $\underline{7.58}$ cm
y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	y₀ : $\underline{0.00}$ mm	z₀ : $\underline{0.00}$ mm

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

Se debe satisfacer:

23.82 129.85

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>262.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>11.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>28.82</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>57.00</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>3516.82</u> kp/cm ²

Siendo:

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

Se debe satisfacer:

: 0.001

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: 0.563 t

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

$N_{t,Rd}$: 499.388 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra. A : 149.10 cm²
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 3349.35 kp/cm²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 3516.82 kp/cm²
 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)

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

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.188} \quad \checkmark$$

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 0.320 m del nudo N117, para la combinación de acciones 1.35-PP+1.5-Q.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{11.744} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \underline{62.599} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{1869.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3349.35} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.400} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.320 m del nudo N117, para la combinación de acciones 1.35-PP+1.5-Q.

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

$$V_{Ed} : \underline{36.726} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{91.756} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{47.45} \text{ cm}^2$$

Siendo:

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

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

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{300.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{19.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{11.00} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{27.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3349.35} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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:

$$18.91 \leq 57.77 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.91}$$

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{57.77}$$

α : Factor de reducción.

$$\alpha : \underline{0.83}$$

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)

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

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

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

No 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 $V_{c,Rd}$.

36.700 t 45.878 t 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.160 m del nudo N117, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 36.700 t


$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: 91.756 t


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

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

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

Se debe satisfacer:

: 0.189 

: 0.187 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.320 m del nudo N117, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: 0.563 t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}$: 11.744 t·m

$M_{z,Ed}$: 0.000 t·m

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

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción. $N_{pl,Rd}$: 499.388 t

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y}$: 62.599 t·m

$M_{pl,Rd,z}$: 29.143 t·m

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

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{ef,Ed}$: -11.688 t·m

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida. $\sigma_{com,Ed}$: 625.34 kp/cm²

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$W_{y,com}$: 1869.00 cm³

A: Área de la sección bruta.

A : 149.10 cm²


$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$M_{b,Rd,y}$: 62.599 t·m

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.160 m del nudo N117, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

36.700 t 45.878 t 

Donde:

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

$V_{Ed,z}$: 36.700 t

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

$V_{c,Rd,z}$: 91.756 t

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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 0.320 m del nudo N117, para la combinación de acciones PP.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.006} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \underline{17.826} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{1869.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{953.75} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_{y,\sigma} : \underline{953.75} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$k_{y,\sigma} : \underline{0.27}$$

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

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

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)

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

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

Se debe satisfacer:

$$\sigma : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.320 m del nudo N117, para la combinación de acciones PP.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.037} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{26.128} \text{ t}$$

Donde:

$$A_v: \text{Área transversal a cortante.} \quad A_v : \underline{47.45} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$$\begin{aligned} A: \text{Área bruta de la sección transversal de la barra.} & \quad A : \underline{149.10} \text{ cm}^2 \\ b: \text{Ancho de la sección.} & \quad b : \underline{300.00} \text{ mm} \\ t_f: \text{Espesor del ala.} & \quad t_f : \underline{19.00} \text{ mm} \\ t_w: \text{Espesor del alma.} & \quad t_w : \underline{11.00} \text{ mm} \\ r: \text{Radio de acuerdo entre ala y alma.} & \quad r : \underline{27.00} \text{ mm} \end{aligned}$$

$$f_{yd}: \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{yd} : \underline{953.75} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{y,\square}: \text{Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad f_{y,\square} : \underline{953.75} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_y : \underline{3516.82} \text{ kp/cm}^2$$

$$k_{y,\square}: \text{Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad k_{y,\square} : \underline{0.27}$$

$$\alpha_{M,\square}: \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \alpha_{M,\square} : \underline{1.00}$$

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

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

$$18.91 \square 57.77 \quad \checkmark$$

Donde:

$$\alpha_w: \text{Esbeltez del alma.} \quad \alpha_w : \underline{18.91}$$

$$\alpha_{m\acute{a}x}: \text{Esbeltez máxima.} \quad \alpha_{m\acute{a}x} : \underline{57.77}$$

$$\alpha: \text{Factor de reducción.} \quad \alpha : \underline{0.83}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

f_y : $\frac{3516.82}{\text{kp/cm}^2}$

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

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

0.019 t \square 13.064 t 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.160 m del nudo N117, para la combinación de acciones PP.

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

V_{Ed} : $\frac{0.019}{\text{t}}$

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

$V_{c,Rd}$: $\frac{26.128}{\text{t}}$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Resistencia a flexión y axil combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

7.5.4. Dintel delanteros

Perfil: HE 200 B							
Material: Acero (S355)							
	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)
	N86	N87	7.000	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.	
	□		1.00	1.00	0.00	0.00	
	L _K		7.000	7.000	0.000	0.000	
	C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
	C ₁		-		1.000		
Notación: □: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							
Situación de incendio							
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 156.97 m ⁻¹ Temperatura máx. de la barra: 665.5 °C Pintura intumescente: 0.8 mm							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N86/N87	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.2$	$\eta = 0.4$	x: 3.5 m $\eta = 2.3$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.18 m $\eta = 0.6$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.18 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3.5 m $\eta = 2.5$	x: 0.18 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 2.5$
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado		
	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y			
N86/N87	$\eta = 0.3$	$\eta = 0.3$	x: 3.5 m $\eta = 5.2$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.18 m $\eta = 1.3$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.18 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 3.5 m $\eta = 5.4$	x: 0.18 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 5.4$		
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.																
Notación: N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																

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

La esbeltez reducida $\lambda_{w,red}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\lambda_{w,red} = 1.81$ ✓

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

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y :** 3618.76 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr} :** 86.364 t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N_{cr,y} :** 245.597 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N_{cr,z} :** 86.364 t

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

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I_y :** 5696.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I_z :** 2003.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. **I_t :** 59.28 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección. **I_w :** 171100.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad. **E :** 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G :** 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky} :** 7.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz} :** 7.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt} :** 0.000 m

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i_o :** 9.93 cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. **i_y :** 8.54 cm

i_z : 5.06 cm

y_o , z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección. **y_o :** 0.00 mm

z_o : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

18.89 126.74

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:

h_w : 170.00 mm
 t_w : 9.00 mm
 A_w : 15.30 cm²
 $A_{fc,ef}$: 30.00 cm²
 k : 0.30
 E : 2140673 kp/cm²
 f_{yf} : 3618.76 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

: 0.002

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H4+0.75·N(EI).

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

$N_{t,Ed}$: 0.596 t

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

$N_{t,Rd}$: 269.167 t

Donde:

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

A : 78.10 cm²
 f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

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

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

f_y : 3618.76 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

: 0.001

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.281} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{269.167} \text{ t}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{78.10} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3446.43} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{62.600} \text{ t}$$

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.

$$f_{yd} : \underline{3446.43} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

\square_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

\square : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\square_y : \underline{0.55}$$

$$\square_z : \underline{0.23}$$

Siendo:

$$\square_y : \underline{1.22}$$

$$\square_z : \underline{2.53}$$

\square : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\square_y : \underline{0.34}$$

$$\square_z : \underline{0.49}$$

λ : Esbeltez reducida.

$$\lambda_y : 1.07$$

$$\lambda_z : 1.81$$

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.

$$N_{cr} : 86.364 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 245.597 \text{ t}$$

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

$$N_{cr,z} : 86.364 \text{ t}$$

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

$$N_{cr,T} : \square$$

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

Se debe satisfacer:

$$\lambda : 0.023 \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.500 m del nudo N86, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$M_{Ed}^+ : 0.507 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

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

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

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

$$M_{c,Rd} : 22.143 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : 1$$

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

$$W_{pl,y} : 642.50 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 3446.43 \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : 3618.76 \text{ kp/cm}^2$$

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

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N86, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.275} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{49.447} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{24.85} \text{ cm}^2$$

Siendo:

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

$$A : \underline{78.10} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{200.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{15.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{9.00} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{18.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3446.43} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

\square_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

$$14.89 \square \underline{56.95} \quad \checkmark$$

Donde:

\square_w : Esbeltez del alma.

$$\square_w : \underline{14.89}$$

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

$$\square_{m\acute{a}x} : \underline{56.95}$$

\square : Factor de reducción.

$$\square : \underline{0.81}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

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

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

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

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

0.275 t 24.723 t 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N86, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

V_{Ed} : 0.275 t

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


$V_{c,Rd}$: 49.447 t


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

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

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

Se debe satisfacer:

: 0.025 

: 0.021 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.500 m del nudo N86, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H4+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	$N_{t,Ed} : 0.596 \text{ t}$
$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed} : 0.507 \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{z,Ed} : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.	$N_{pl,Rd} : 269.167 \text{ t}$
$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y} : 22.143 \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{pl,Rd,z} : 10.539 \text{ t}\cdot\text{m}$
Resistencia a pandeo : (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)	
$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.	$M_{ef,Ed} : 0.468 \text{ t}\cdot\text{m}$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida. $\sigma_{com,Ed} : 72.80 \text{ kp/cm}^2$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y. $W_{y,com} : 642.50 \text{ cm}^3$

A : Área de la sección bruta. $A : 78.10 \text{ cm}^2$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo. $M_{b,Rd,y} : 22.143 \text{ t}\cdot\text{m}$

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

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{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 0.180 m del nudo N86, para la combinación de acciones 1.35·PP.

0.275 t 24.723 t 

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,z} : 0.275 \text{ t}$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,z} : 49.447 \text{ t}$

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

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H4.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{0.232} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} : \underline{88.311} \text{ t}$$

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.

$$f_{yd} : \underline{1130.75} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\sigma}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\sigma} : \underline{1130.75} \text{ kp/cm}^2$

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

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$k_{y,\sigma} : \underline{0.31}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H1.

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

$N_{c,Ed}$: 0.039 t

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

$N_{c,Rd}$: 88.311 t

Donde:

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

Clase : 1

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

A : 78.10 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 1130.75 kp/cm²

Siendo:

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

$f_{y,\square}$: 1130.75 kp/cm²

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

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

$k_{y,\square}$: 0.31

$\alpha_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\alpha_{M,\square}$: 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:

$N_{b,Rd}$: 13.127 t

Donde:

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

A : 78.10 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 1130.75 kp/cm²

Siendo:

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

$f_{y,\square}$: 1130.75 kp/cm²

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

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

$k_{y,\square}$: 0.31

$\alpha_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\alpha_{M,\square}$: 1.00

α : Coeficiente de reducción por pandeo.

α_y : 0.35

α_z : 0.15

Siendo:

α_y : 1.76

α_z : 3.77

α : Coeficiente de imperfección elástica.	α_y : <u>0.49</u>
	α_z : <u>0.49</u>
λ : Esbeltez reducida.	λ_y : <u>1.39</u>
	λ_z : <u>2.34</u>
$k_{\alpha,\lambda}$: Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.	$k_{\alpha,\lambda}$: <u>1.30</u>
N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:	N_{cr} : <u>86.364</u> t
$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.	$N_{cr,y}$: <u>245.597</u> t
$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	$N_{cr,z}$: <u>86.364</u> t
$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	$N_{cr,T}$: <u>□</u>

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

Se debe satisfacer:

α : 0.052 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.500 m del nudo N86, para la combinación de acciones PP.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ : 0.376 t·m

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- : 0.000 t·m

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

$M_{c,Rd}$: 7.265 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. $W_{pl,y}$: 642.50 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 1130.75 kp/cm²

Siendo:

$f_{y,\alpha}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\alpha}$: 1130.75 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 3618.76 kp/cm²

$k_{y,\alpha}$: 0.31

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

m_{\square} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

m_{\square} : 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)

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

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

Se debe satisfacer:

\square : 0.013 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N86, para la combinación de acciones PP.

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

V_{Ed} : 0.204 t

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

$V_{c,Rd}$: 16.223 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 24.85 cm²

Siendo:

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

A : 78.10 cm²

b : Ancho de la sección.

b : 200.00 mm

t_f : Espesor del ala.

t_f : 15.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 9.00 mm

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

r : 18.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 1130.75 kp/cm²

Siendo:

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

$f_{y,\square}$: 1130.75 kp/cm²

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

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

$k_{y,\square}$: 0.31

$\gamma_{M,1}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,1}$: 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:

14.89 \leq 56.95 ✓

Donde:

w : Esbeltez del alma.

w : 14.89

w_{\max} : Esbeltez máxima.

w_{\max} : 56.95

γ : Factor de reducción.

γ : 0.81

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

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

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

0.204 t \leq 8.111 t ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N86, para la combinación de acciones PP.

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

V_{Ed} : 0.204 t

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

$V_{c,Rd}$: 16.223 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Resistencia a flexión y axil combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.054} \quad \checkmark$$

$$\square : \underline{0.050} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.500 m del nudo N86, para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H4.

Donde:

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

$$\mathbf{N_{t,Ed}} : \underline{0.232} \text{ t}$$

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

$$\mathbf{M_{y,Ed}^*} : \underline{0.376} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{z,Ed}^*} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

N_{pl,Rd}: Resistencia a tracción.

$$\mathbf{N_{pl,Rd}} : \underline{88.311} \text{ t}$$

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

$$\mathbf{M_{pl,Rd,y}} : \underline{7.265} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{pl,Rd,z}} : \underline{3.458} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$\mathbf{M_{ef,Ed}} : \underline{0.360} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

σ_{com,Ed}: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\square_{\text{com,Ed}} : \underline{56.07} \text{ kp/cm}^2$$

W_{y,com}: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$\mathbf{W_{y,com}} : \underline{642.50} \text{ cm}^3$$

A: Área de la sección bruta.

$$\mathbf{A} : \underline{78.10} \text{ cm}^2$$


M_{b,Rd,y}: Momento flector resistente de cálculo.

$$\mathbf{M_{b,Rd,y}} : \underline{7.265} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N86, para la combinación de acciones PP.

0.204 t 8.111 t 

Donde:

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

$V_{Ed,z}$: 0.204 t

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

$V_{c,Rd,z}$: 16.223 t

Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

7.5.5. Vigas de atado traseros

Perfil: HE 120 B Material: Acero (S355)						
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					
N204	N215	4.000	34.00	864.40	317.50	13.84
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.		
□	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	4.000	4.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: □: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						
Situación de incendio						
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 215.75 m-1 Temperatura máx. de la barra: 694.5 °C Pintura intumescente: 1.0 mm						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_{w}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _v V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _v V _z	M _t V _y
N204/N215	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	$\eta = 1.1$	$\eta = 5.4$	x: 2 m $\eta = 1.3$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.18 m $\eta = 0.3$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.18 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 2 m $\eta = 6.1$	x: 0.18 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 6.1$
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado		
	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _v V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _v V _z	M _t V _y			
N204/N215	$\eta = 1.5$	$\eta = 10.9$	x: 2 m $\eta = 3.7$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.18 m $\eta = 0.9$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.18 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 2 m $\eta = 13.2$	x: 0.18 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 13.2$		
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.																
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 _v V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _v V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																

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

La esbeltez reducida □□ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

□□ : 1.71 ✓

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 :** 34.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y :** 3618.76 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr} :** 41.925 t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N_{cr,y} :** 114.142 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N_{cr,z} :** 41.925 t

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

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I_y :** 864.40 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I_z :** 317.50 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. **I_t :** 13.84 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección. **I_w :** 9410.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad. **E :** 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G :** 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky} :** 4.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz} :** 4.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt} :** 0.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i₀ :** 5.90 cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. **i_y :** 5.04 cm
i_z : 3.06 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección. **y₀ :** 0.00 mm
z₀ : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

15.08 □ 123.28 ✓

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:

h_w : 98.00 mm

t_w : 6.50 mm

A_w : 6.37 cm²

$A_{fc,ef}$: 13.20 cm²

k : 0.30

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf} : 3618.76 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

□ : 0.011 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H3+0.75·N(R)1.

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

$N_{t,Ed}$: 1.300 t

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

$N_{t,Rd}$: 117.179 t

Donde:

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

A : 34.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

□_{MO}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

□_{MO} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

□ : 0.014 ✓

: 0.054 ✓

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

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

$N_{c,Ed}$: 1.618 t

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

$N_{c,Rd}$: 117.179 t

Donde:

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

Clase : 1

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

A : 34.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

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

γ_{M0} : 1.05

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

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

$N_{b,Rd}$: 29.822 t

Donde:

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

A : 34.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

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

γ_{M1} : 1.05

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : 0.57

χ_z : 0.25

Siendo:

λ_y : 1.18

λ_z : 2.34

α_y : Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.34

α_z : Esbeltez reducida.

α_z : 0.49

$$\square\square_y : 1.04$$

$$\square\square_z : 1.71$$

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

$$N_{cr} : 41.925 \text{ t}$$

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

$$N_{cr,y} : 114.142 \text{ t}$$

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

$$N_{cr,z} : 41.925 \text{ t}$$

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

$$N_{cr,T} : \square$$

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

Se debe satisfacer:

$$\square : 0.013 \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.000 m del nudo N204, para la combinación de acciones 1.35-PP.

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

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

Para flexión negativa:

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

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

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

$$M_{c,Rd} : 5.694 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : 1$$

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

$$W_{pl,y} : 165.20 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 3446.43 \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : 3618.76 \text{ kp/cm}^2$$

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

$$\square_{MO} : 1.05$$

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)

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

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.066} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{21.798} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{10.96} \text{ cm}^2$$

Siendo:

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

$$A : \underline{34.00} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{120.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{11.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.50} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{12.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3446.43} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

\square_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

$$11.38 \square \underline{56.95} \quad \checkmark$$

Donde:

\square_w : Esbeltez del alma.

$$\square_w : \underline{11.38}$$

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

$$\square_{m\acute{a}x} : \underline{56.95}$$

\square : Factor de reducción.

$$\square : \underline{0.81}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

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

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

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

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

0.066 t 10.899 t 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

V_{Ed} : 0.066 t

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


$V_{c,Rd}$: 21.798 t


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

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

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

Se debe satisfacer:

: 0.026 

: 0.037 

: 0.061 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.000 m del nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H4+0.75·N(R)2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed} : \underline{1.603} \text{ t}$
$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed} : \underline{0.072} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{z,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd} : \underline{117.179} \text{ t}$
$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y} : \underline{5.694} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{pl,Rd,z} : \underline{2.791} \text{ t}\cdot\text{m}$
Resistencia a pandeo : (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)	
A : Área de la sección bruta.	A : <u>34.00</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.	$W_{pl,y} : \underline{165.20} \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} : \underline{80.97} \text{ cm}^3$
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{yd} : \underline{3446.43} \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.02}$$

$$k_z : \underline{1.08}$$

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

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

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

η_y , η_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\eta_y : \underline{0.57}$$

$$\eta_z : \underline{0.25}$$

$\chi_{\eta,y}$, $\chi_{\eta,z}$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_{\eta,y} : \underline{1.04}$$

$$\chi_{\eta,z} : \underline{1.71}$$

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

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

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

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N204, para la combinación de acciones 1.35·PP.

0.066 t 10.899 t 

Donde:

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

$V_{Ed,z}$: 0.066 t

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

$V_{c,Rd,z}$: 21.798 t

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

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

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


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

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

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

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

Se debe satisfacer:

: 0.015 

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H3.

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

$N_{t,Ed}$: 0.440 t

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

$N_{t,Rd}$: 29.879 t

Donde:

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

A : 34.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 878.79 kp/cm²

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square}$: 878.79 kp/cm²

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

$k_{y,\square}$: 0.24

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

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

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

$\gamma_{M,\square}$: 0.017 ✓

$\gamma_{M,\square}$: 0.109 ✓

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

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

$N_{c,Ed}$: 0.514 t

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

$N_{c,Rd}$: 29.879 t

Donde:

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

Clase : 1

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

A : 34.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 878.79 kp/cm²

Siendo:

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

$f_{y,\square}$: 878.79 kp/cm²

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

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

$k_{y,\square}$: 0.24

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

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

$N_{b,Rd}$: 4.703 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

A : 34.00 cm²
f_{yd} : 878.79 kp/cm²

Siendo:

f_{y,σ}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. **f_{y,σ} :** 878.79 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y :** 3618.76 kp/cm²
k_{y,σ}: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. **k_{y,σ} :** 0.24

σ_m: Coeficiente parcial de seguridad del material. **σ_m :** 1.00

σ: Coeficiente de reducción por pandeo.

σ_y : 0.36

σ_z : 0.16

Siendo:

σ_y : 1.73

σ_z : 3.58

σ: Coeficiente de imperfección elástica.

σ_y : 0.49

σ_z : 0.49

σ_σ: Esbeltez reducida.

σ_σ_y : 1.38

σ_σ_z : 2.27

k_{σ,σ}: Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.

k_{σ,σ} : 1.32

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

N_{cr} : 41.925 t

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

N_{cr,y} : 114.142 t

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

N_{cr,z} : 41.925 t

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

N_{cr,T} : □

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

Se debe satisfacer:

σ : 0.037 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.000 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP.

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

M_{Ed}⁺ : 0.053 t·m

Para flexión negativa:

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

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.452} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{165.20} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{878.79} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_{y,\square} : \underline{878.79} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$k_{y,\square} : \underline{0.24}$$

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

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

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)

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

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.049} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{5.558} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 10.96 cm²

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra. A : 34.00 cm²
 b : Ancho de la sección. b : 120.00 mm
 t_f : Espesor del ala. t_f : 11.00 mm
 t_w : Espesor del alma. t_w : 6.50 mm
 r : Radio de acuerdo entre ala y alma. r : 12.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 878.79 kp/cm²

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square}$: 878.79 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 3618.76 kp/cm²

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. $k_{y,\square}$: 0.24

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

11.38 \square 56.95 

Donde:

γ_w : Esbeltez del alma. γ_w : 11.38

$\gamma_{máx}$: Esbeltez máxima. $\gamma_{máx}$: 56.95

γ : Factor de reducción. γ : 0.81

Siendo:

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

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 3618.76 kp/cm²

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

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

$$0.049 \text{ t} \leq 2.779 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.049} \text{ t}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{5.558} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Resistencia a flexión y axil combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.054} \quad \checkmark$$

$$\square : \underline{0.086} \quad \checkmark$$

$$\square : \underline{0.132} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.000 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H4.

Donde:

$$N_{c,Ed}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{0.514} \text{ t}$$

$$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: \text{Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{y,Ed^+} : \underline{0.053} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$\text{Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.} \quad \text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd}: \text{Resistencia a compresión de la sección bruta.} \quad N_{pl,Rd} : \underline{29.879} \text{ t}$$

$$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: \text{Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{pl,Rd,y} : \underline{1.452} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{0.712} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

A: Área de la sección bruta.

$$A : \frac{34.00}{\text{cm}^2}$$

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

$$W_{pl,y} : \frac{165.20}{\text{cm}^3}$$

$$W_{pl,z} : \frac{80.97}{\text{cm}^3}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \frac{878.79}{\text{kp/cm}^2}$$

Siendo:

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

$$f_{y,\square} : \frac{878.79}{\text{kp/cm}^2}$$

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

$$f_y : \frac{3618.76}{\text{kp/cm}^2}$$

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

$$k_{y,\square} : \frac{0.24}{\text{kp/cm}^2}$$

$\alpha_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\alpha_{M,\square} : \frac{1.00}{\text{kp/cm}^2}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \frac{1.04}{\text{kp/cm}^2}$$

$$k_z : \frac{1.15}{\text{kp/cm}^2}$$

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

$$C_{m,y} : \frac{1.00}{\text{kp/cm}^2}$$

$$C_{m,z} : \frac{1.00}{\text{kp/cm}^2}$$

η_y , η_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\eta_y : \frac{0.36}{\text{kp/cm}^2}$$

$$\eta_z : \frac{0.16}{\text{kp/cm}^2}$$

η_{η_y} , η_{η_z} : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\eta_{\eta_y} : \frac{1.38}{\text{kp/cm}^2}$$

$$\eta_{\eta_z} : \frac{2.27}{\text{kp/cm}^2}$$

χ_y , χ_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\chi_y : \frac{0.60}{\text{kp/cm}^2}$$

$$\chi_z : \frac{0.60}{\text{kp/cm}^2}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N204, para la combinación de acciones PP.

$$0.049 \text{ t} \leq 2.779 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{0.049}{\text{t}}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{5.558}{\text{t}}$$

Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

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

7.5.6. Vigas de atado laterales

Perfil: HE 140 B Material: Acero (S355)							
Nudos	Longitud		Características mecánicas				
	Inicial	Final	(m)	Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N97	N98		5.000	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.	
	□		1.00	1.00	0.00	0.00	
	L _K		5.000	5.000	0.000	0.000	
	C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁			-		1.000		
Notación: □: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							
Situación de incendio							
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 197.99 m ⁻¹ Temperatura máx. de la barra: 668.5 °C Pintura intumescente: 1.0 mm							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N97/N98	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.313 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.9$	$\eta = 2.6$	x: 2.5 m $\eta = 1.7$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 2.5 m $\eta = 3.6$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 3.6$
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
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			
N97/N98	$\eta = 0.9$	$\eta = 4.2$	x: 2.5 m $\eta = 3.9$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 1.0$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 2.5 m $\eta = 6.6$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 6.6$		
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Notación: N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																

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

La esbeltez reducida □□ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

□□ : 1.83 ✓

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 :** 3618.76 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr} :** 46.455 t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N_{cr,y} :** 127.526 t

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **N_{cr,z} :** 46.455 t

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **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 :** 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G :** 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky} :** 5.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz} :** 5.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt} :** 0.000 m

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i_o :** 6.92 cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. **i_y :** 5.92 cm

i_z : 3.58 cm

y_o , z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección. **y_o :** 0.00 mm

z_o : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

16.57 123.38

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:

h_w : 116.00 mm
 t_w : 7.00 mm
 A_w : 8.12 cm²
 $A_{fc,ef}$: 16.80 cm²
 k : 0.30
 E : 2140673 kp/cm²
 f_{yf} : 3618.76 kp/cm²

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

Se debe satisfacer:

: 0.009

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(R)1.

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

$N_{t,Ed}$: 1.351 t

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

$N_{t,Rd}$: 148.197 t

Donde:

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

A : 43.00 cm²
 f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

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

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

f_y : 3618.76 kp/cm²
 γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

: 0.006

: 0.026 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$N_{c,Ed}$: 0.874 t

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

$N_{c,Rd}$: 148.197 t

Donde:

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

Clase : 1

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

A : 43.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

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

α_{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:

$N_{b,Rd}$: 33.801 t

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} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

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

f_y : 3618.76 kp/cm²

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

α_{M1} : 1.05

α_y : Coeficiente de reducción por pandeo.

α_y : 0.53

α_z : 0.23

Siendo:

α_y : 1.26

α_z : 2.57

α_y : Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.34

α_z : 0.49

λ : Esbeltez reducida.

$$\lambda_y : 1.10$$

$$\lambda_z : 1.83$$

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.

$$N_{cr} : 46.455 \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : 127.526 \text{ t}$$

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

$$N_{cr,z} : 46.455 \text{ t}$$

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

$$N_{cr,T} : \square$$

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

Se debe satisfacer:

$$\lambda : 0.017 \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N97, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$M_{Ed}^+ : 0.142 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

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

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

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

$$M_{c,Rd} : 8.458 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : 1$$

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

$$W_{pl,y} : 245.40 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : 3446.43 \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

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

$$f_y : 3618.76 \text{ kp/cm}^2$$

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

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

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

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

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

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

Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N97, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.114} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{26.106} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{13.12} \text{ cm}^2$$

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{43.00} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{140.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{12.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.00} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{12.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3446.43} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

\square_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\square_{Mo} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$13.14 \square \underline{56.95} \quad \checkmark$$

Donde:

\square_w : Esbeltez del alma.

$$\square_w : \underline{13.14}$$

$\square_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\square_{m\acute{a}x} : \underline{56.95}$$

\square : Factor de reducción.

$$\square : \underline{0.81}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 3618.76 kp/cm²

Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$0.100 \text{ t} \leq 13.053 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N97, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.100 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 26.106 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

σ : 0.023 ✓

σ : 0.028 ✓

σ : 0.036 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N97, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(R)2.

Donde:

N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : <u>0.873</u> t
M_{y,Ed}, M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed}⁺ : <u>0.142</u> t·m
	M_{z,Ed}⁺ : <u>0.000</u> t·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>148.197</u> t
M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : <u>8.458</u> t·m
	M_{pl,Rd,z} : <u>4.129</u> t·m
Resistencia a pandeo : (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)	
A : Área de la sección bruta.	A : <u>43.00</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>245.40</u> cm ³
	W_{pl,z} : <u>119.80</u> cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>3446.43</u> kp/cm ²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>3618.76</u> kp/cm ²
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M1} : <u>1.05</u>

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z : \underline{1.04}$$

C_{m,y}, C_{m,z}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

γ_y, γ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\gamma_y : \underline{0.53}$$

$$\gamma_z : \underline{0.23}$$

γ_{ay}, γ_{az}: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\gamma_{ay} : \underline{1.10}$$

$$\gamma_{az} : \underline{1.83}$$

γ_y, γ_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\gamma_y : \underline{0.60}$$

$$\gamma_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^{ésimos} se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N97, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$0.100 \text{ t} \leq 13.053 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo p^{ésimo}.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.100} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{26.106} \text{ t}$$

Resistencia a torsión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a tracción - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo p^{ésimo} se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(0°)H1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo p^{ésimo}.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.451} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{47.581} \text{ t}$$

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.

$$f_{yd} : \underline{1106.53} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square} : \underline{1106.53} \text{ kp/cm}^2$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. $k_{y,\square}$: 0.31

$\square_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\square_{M,\square}$: 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:

\square : 0.006 ✓

\square : 0.042 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 0.290 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd}$: 47.581 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 43.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 1106.53 kp/cm²

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square}$: 1106.53 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 3618.76 kp/cm²

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. $k_{y,\square}$: 0.31

$\square_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\square_{M,\square}$: 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:

$N_{b,Rd}$: 6.901 t

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} : 1106.53 kp/cm²

Siendo:

f_{y,σ}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

f_{y,σ} : 1106.53 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 3618.76 kp/cm²

k_{y,σ}: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

k_{y,σ} : 0.31

σ_m: Coeficiente parcial de seguridad del material.

σ_m : 1.00

σ: Coeficiente de reducción por pandeo.

σ_y : 0.34

σ_z : 0.15

Siendo:

σ_y : 1.83

σ_z : 3.86

σ: Coeficiente de imperfección elástica.

σ_y : 0.49

σ_z : 0.49

σ_σ: Esbeltez reducida.

σ_σ_y : 1.43

σ_σ_z : 2.38

k_{σ,σ}: Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.

k_{σ,σ} : 1.30

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 46.455 t

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 127.526 t

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 46.455 t

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : □

Resistencia a flexión eje Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

σ : 0.039 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N97, para la combinación de acciones PP.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{Ed}^+ : 0.105 \text{ t}\cdot\text{m}$
 Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{Ed}^- : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$
 El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$M_{c,Rd} : 2.715 \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : 1

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y} : 245.40 \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd} : 1106.53 \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square} : 1106.53 \text{ kp/cm}^2$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : 3618.76 \text{ kp/cm}^2$

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. $k_{y,\square} : 0.31$

$\alpha_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\alpha_{M,\square} : 1.00$

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)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$\square : 0.010 \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N97, para la combinación de acciones PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : 0.084 \text{ t}$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd} : 8.382 \text{ t}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 13.12 cm²

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra. A : 43.00 cm²
 b : Ancho de la sección. b : 140.00 mm
 t_f : Espesor del ala. t_f : 12.00 mm
 t_w : Espesor del alma. t_w : 7.00 mm
 r : Radio de acuerdo entre ala y alma. r : 12.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 1106.53 kp/cm²

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square}$: 1106.53 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 3618.76 kp/cm²

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil. $k_{y,\square}$: 0.31

$\gamma_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material. $\gamma_{M,\square}$: 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:

13.14 **56.95** 

Donde:

γ_w : Esbeltez del alma. γ_w : 13.14

$\gamma_{máx}$: Esbeltez máxima. $\gamma_{máx}$: 56.95

γ : Factor de reducción. γ : 0.81

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia. f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 3618.76 kp/cm²

Resistencia a corte Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$0.074 \text{ t} \leq 4.191 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N97, para la combinación de acciones PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.074} \text{ t}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{8.382} \text{ t}$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.045} \quad \checkmark$$

$$\square : \underline{0.057} \quad \checkmark$$

$$\square : \underline{0.066} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N97, para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{0.290} \text{ t}$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed} : \underline{0.105} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : \underline{47.581} \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \frac{2.715}{1} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \frac{1.326}{1} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A : Área de la sección bruta.

$$A : \frac{43.00}{1} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \frac{245.40}{1} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \frac{119.80}{1} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \frac{1106.53}{1} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\square} : \frac{1106.53}{1} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \frac{3618.76}{1} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\square} : \frac{0.31}{1}$$

$\alpha_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\alpha_{M,\square} : \frac{1.00}{1}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \frac{1.01}{1}$$

$$k_z : \frac{1.06}{1}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \frac{1.00}{1}$$

$$C_{m,z} : \frac{1.00}{1}$$

α_y , α_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\alpha_y : \frac{0.34}{1}$$

$$\alpha_z : \frac{0.15}{1}$$

$\alpha\alpha_y$, $\alpha\alpha_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\alpha\alpha_y : \frac{1.43}{1}$$

$$\alpha\alpha_z : \frac{2.38}{1}$$

β_y , β_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\beta_y : \frac{0.60}{1}$$

$$\beta_z : \frac{0.60}{1}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N97, para la combinación de acciones PP.

$$0.074 \text{ t} \square 4.191 \text{ t}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.
 $V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{Ed,z}$: 0.074 t
 $V_{c,Rd,z}$: 8.382 t

Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

7.5.7. Vigas de atado superiores

Perfil: IPE 300		Material: Acero (S355)		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)		Pandeo		Pandeo lateral	
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.					
N167	N148	5.000	53.80	8356.00	604.00	20.10				
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme										
		□	1.00	1.00	0.00	0.00				
		L _K	5.000	5.000	0.000	0.000				
		C _m	1.000	1.000	1.000	1.000				
		C ₁	-		1.000					
Notación: □: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico										
Situación de incendio										
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 228.56 m-1 Temperatura máx. de la barra: 341.5 °C Pintura intumescente: 3.4 mm										

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - TEMPERATURA AMBIENTE													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_{w}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N167/N148	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.313 m $\lambda_{w} \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	$\eta = 1.5$	$\eta = 4.3$	x: 2.5 m $\eta = 0.8$	x: 2.5 m $\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	x: 2.5 m $\eta = 6.7$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	M _{ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 6.7$
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado		
	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y			
N167/N148	$\eta = 0.7$	$\eta = 2.0$	x: 2.5 m $\eta = 0.8$	x: 2.5 m $\eta = 1.0$	x: 0 m $\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	x: 2.5 m $\eta = 3.5$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	M _{ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE $\eta = 3.5$		
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																
Notación: N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																

Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida □□ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

□□ : **1.91** ✓

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>4</u>
A_{ef}: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.	A_{ef} : <u>51.28</u> cm ²
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>3618.76</u> kp/cm ²
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.	N_{cr} : <u>51.044</u> t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.	N_{cr,y} : <u>706.169</u> t
b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	N_{cr,z} : <u>51.044</u> t
c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	N_{cr,T} : <u>□</u>

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y : <u>8356.00</u> cm ⁴
I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : <u>604.00</u> cm ⁴
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>20.10</u> cm ⁴
I_w: Constante de alabeo de la sección.	I_w : <u>126000.00</u> cm ⁶
E: Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
G: Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>825688</u> kp/cm ²
L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} : <u>5.000</u> m
L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} : <u>5.000</u> m
L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} : <u>0.000</u> m
i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i₀ : <u>12.91</u> cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y : <u>12.46</u> cm
y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	i_z : <u>3.35</u> cm
	y₀ : <u>0.00</u> mm
	z₀ : <u>0.00</u> 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:

39.24 □ 197.01 ✓

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:

h_w : 278.60 mm

t_w : 7.10 mm

A_w : 19.78 cm²

$A_{fc,ef}$: 16.05 cm²

k : 0.30

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf} : 3618.76 kp/cm²

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

□ : 0.015 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H3+0.75·N(R)1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 2.813 t

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$N_{t,Rd}$: 185.418 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 53.80 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 3618.76 kp/cm²

□ $_{MO}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

□ $_{MO}$: 1.05

Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

□ : 0.010 ✓

: 0.043 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(R)2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 1.725 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd}$: 176.732 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 4

A_{ef} : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

A_{ef} : 51.28 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 3618.76 kp/cm²

α_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

α_{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:

$N_{b,Rd}$: 40.285 t

Donde:

A_{ef} : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

A_{ef} : 51.28 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 3618.76 kp/cm²

α_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

α_{M1} : 1.05

α : Coeficiente de reducción por pandeo.

α_y : 0.92

α_z : 0.23

Siendo:

α_y : 0.66

α_z : 2.61

α_y : Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.21

α_z : Esbeltez reducida.

α_z : 0.34

$$\square\square_y : \underline{0.51}$$

$$\square\square_z : \underline{1.91}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{51.044} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{706.169} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{51.044} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\square}$$

Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.008} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N167, para la combinación de acciones 1.35-PP.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.172} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{21.644} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3446.43} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

\square_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\square_{MO} : \underline{1.05}$$

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:

$$\square : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N167, para la combinación de acciones 1.35-PP.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.046} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{4.308} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{125.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{3446.43} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

\square_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\square_{MO} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones 1.35-PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.138} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{51.078} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{25.67} \text{ cm}^2$$

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

b: Ancho de la sección.	b : <u>150.00</u> mm
t_f: Espesor del ala.	t_f : <u>10.70</u> mm
t_w: Espesor del alma.	t_w : <u>7.10</u> mm
r: Radio de acuerdo entre ala y alma.	r : <u>15.00</u> mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd} :** 3446.43 kp/cm²

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>3618.76</u> kp/cm ²
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

35.01 **56.95** ✓

Donde:

γ_w: Esbeltez del alma.	γ_w : <u>35.01</u>
γ_{máx}: Esbeltez máxima.	γ_{máx} : <u>56.95</u>
γ: Factor de reducción.	γ : <u>0.81</u>

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.	f_{ref} : <u>2395.51</u> kp/cm ²
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>3618.76</u> kp/cm ²

Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

γ : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed} :** 0.037 t

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

V_{c,Rd} : 67.692 t

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 34.02 cm²

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

A : 53.80 cm²

d : Altura del alma.

d : 278.60 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 7.10 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 3618.76 kp/cm²

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 $V_{c,Rd}$.

0.120 t 25.539 t 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N167, para la combinación de acciones 1.35-PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.120 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 51.078 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

0.032 t 33.846 t 

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N167, para la combinación de acciones 1.35-PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.032 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 67.692 t

Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

: 0.035 ✓

: 0.036 ✓

: 0.067 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N167, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H2+0.75·N(R)2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 1.725 t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+$: 0.172 t·m

$M_{z,Ed}^+$: 0.046 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 3

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd}$: 185.418 t

$M_{el,Rd,y}$, $M_{el,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{el,Rd,y}$: 19.199 t·m

$M_{el,Rd,z}$: 2.776 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

A : 53.80 cm²

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{el,y}$: 557.07 cm³

$W_{el,z}$: 80.53 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 3618.76 kp/cm²

α_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

α_{M1} : 1.05

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

k_y : 1.00

k_z : 1.03

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

η_y , η_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\eta_y : \underline{0.92}$$

$$\eta_z : \underline{0.22}$$

χ_y , χ_z : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.53}$$

$$\chi_z : \underline{1.95}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.80}$$

$$\alpha_z : \underline{1.00}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N167, para la combinación de acciones 1.35-PP.

$$0.120 \text{ t} \leq 25.539 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.120} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{51.078} \text{ t}$$

Resistencia a torsión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a tracción - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\sigma : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(180°)H3.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 0.931 t

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$N_{t,Rd}$: 141.372 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 53.80 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2627.72 kp/cm²

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil. $f_{y,\square}$: 2627.72 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 3618.76 kp/cm²

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$k_{y,\square}$: 0.73

$\gamma_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M,\square}$: 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:

: 0.004 ✓

: 0.020 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.577 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd}$: 134.749 t

Donde:

Clase : 4

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_{ef}: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$A_{ef} : \underline{51.28 \text{ cm}^2}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2627.72 \text{ kp/cm}^2}$$

Siendo:

f_{y,σ}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\sigma} : \underline{2627.72 \text{ kp/cm}^2}$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{3618.76 \text{ kp/cm}^2}$$

k_{y,σ}: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\sigma} : \underline{0.73}$$

σ_M: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\sigma_M : \underline{1.00}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} : \underline{28.683 \text{ t}}$$

Donde:

A_{ef}: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$A_{ef} : \underline{51.28 \text{ cm}^2}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2627.72 \text{ kp/cm}^2}$$

Siendo:

f_{y,σ}: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\sigma} : \underline{2627.72 \text{ kp/cm}^2}$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{3618.76 \text{ kp/cm}^2}$$

k_{y,σ}: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\sigma} : \underline{0.73}$$

σ_M: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\sigma_M : \underline{1.00}$$

σ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\sigma_y : \underline{0.84}$$

$$\sigma_z : \underline{0.21}$$

Siendo:

$$\sigma_y : \underline{0.71}$$

$$\sigma_z : \underline{2.74}$$

σ: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\sigma_y : \underline{0.49}$$

$$\sigma_z : \underline{0.49}$$

σσ: Esbeltez reducida.

$$\sigma\sigma_y : \underline{0.51}$$

$$\sigma\sigma_z : \underline{1.91}$$

$$k_{\sigma,\sigma} : \underline{1.00}$$

$k_{\varphi,T}$: Factor de incremento de la esbeltez reducida para la temperatura que alcanza el perfil.

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr} : \underline{51.044} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{706.169} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{51.044} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\quad}$$

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:

$$\varphi : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N167, para la combinación de acciones PP.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.127} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{16.502} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2627.72} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\varphi}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\varphi} : \underline{2627.72} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\varphi}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\varphi} : \underline{0.73}$$

$\alpha_{M,\varphi}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\alpha_{M,\varphi} : \underline{1.00}$$

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:

$$\sigma : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N167, para la combinación de acciones PP.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{3.285} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{125.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2627.72} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\sigma}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\sigma} : \underline{2627.72} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\sigma}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\sigma} : \underline{0.73}$$

$\sigma_{M,\sigma}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\sigma_{M,\sigma} : \underline{1.00}$$

Resistencia a corte Z - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\sigma : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.102} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{38.944} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{25.67} \text{ cm}^2$$

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{150.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{10.70} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{15.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2627.72} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\square} : \underline{2627.72} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\square} : \underline{0.73}$$

$\gamma_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M,\square} : \underline{1.00}$$

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:

$$35.01 \square 56.95 \quad \checkmark$$

Donde:

γ_w : Esbeltez del alma.

$$\gamma_w : \underline{35.01}$$

$\gamma_{máx}$: Esbeltez máxima.

$$\gamma_{máx} : \underline{56.95}$$

γ : Factor de reducción.

$$\gamma : \underline{0.81}$$

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)

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$\square : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N167, para la combinación de acciones PP.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.027} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{51.611} \text{ t}$$

Donde:

$$A_v: \text{Área transversal a cortante.} \quad A_v : \underline{34.02} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$$A: \text{Área de la sección bruta.} \quad A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

$$d: \text{Altura del alma.} \quad d : \underline{278.60} \text{ mm}$$

$$t_w: \text{Espesor del alma.} \quad t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

$$f_{yd}: \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{yd} : \underline{2627.72} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{y,\square}: \text{Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad f_{y,\square} : \underline{2627.72} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

$$k_{y,\square}: \text{Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.} \quad k_{y,\square} : \underline{0.73}$$

$$\square_{M,\square}: \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \square_{M,\square} : \underline{1.00}$$

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 $V_{c,Rd}$.

$$0.089 \text{ t} \quad \square \quad 19.472 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^simos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N167, para la combinaci3n de acciones PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de c3lculo p^simo. V_{Ed} : 0.089 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de c3lculo. $V_{c,Rd}$: 38.944 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situaci3n de incendio (CTE DB SE-A, Art3culo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No es necesario reducir la resistencia de c3lculo a flexi3n, ya que el esfuerzo cortante solicitante de c3lculo p^simo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de c3lculo a cortante $V_{c,Rd}$.

0.024 t 25.806 t 

Los esfuerzos solicitantes de c3lculo p^simos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N167, para la combinaci3n de acciones PP.


V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de c3lculo p^simo. V_{Ed} : 0.024 t


$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de c3lculo. $V_{c,Rd}$: 51.611 t

Resistencia a flexi3n y axil combinados - Situaci3n de incendio (CTE DB SE-A, Art3culo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

: 0.022 

: 0.019 

: 0.035 

Los esfuerzos solicitantes de c3lculo p^simos se producen en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N167, para la combinaci3n de acciones PP+0.5·V(270°)H2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresi3n solicitante de c3lculo p^simo.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de c3lculo p^simos, seg3n los ejes Y y Z, respectivamente.

$N_{c,Ed}$: 0.577 t

$M_{y,Ed}^+$: 0.127 t·m

$M_{z,Ed}^+$: 0.034 t·m

Clase : 1

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{141.372 \text{ t}}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{16.502 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{3.285 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{53.80 \text{ cm}^2}$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{628.00 \text{ cm}^3}$$

$$W_{pl,z} : \underline{125.00 \text{ cm}^3}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2627.72 \text{ kp/cm}^2}$$

Siendo:

$f_{y,\square}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$$f_{y,\square} : \underline{2627.72 \text{ kp/cm}^2}$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{3618.76 \text{ kp/cm}^2}$$

$k_{y,\square}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$$k_{y,\square} : \underline{0.73}$$

$\alpha_{M,\square}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\alpha_{M,\square} : \underline{1.00}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z : \underline{1.03}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

α_y , α_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\alpha_y : \underline{0.83}$$

$$\alpha_z : \underline{0.20}$$

$\alpha\alpha_y$, $\alpha\alpha_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\alpha\alpha_y : \underline{0.53}$$

$$\alpha\alpha_z : \underline{1.95}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N167, para la combinación de acciones PP.

0.089 t 19.472 t



Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed,z}$: 0.089 t

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de c culo.

$V_{c,Rd,z}$: 38.944 t

Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

7.5.8. Arriostramientos

Perfil: R 10 Material: Acero (S355)							
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)	
N4	N198	6.491	0.79	0.05	0.05	0.10	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	b		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: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							
Situación de incendio							
Resistencia requerida: R 60 Factor de forma: 400.00 m-1 Temperatura máx. de la barra: 671.5 °C Pintura intumescente: 2.0 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 de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\lambda < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

- A: Área bruta de la sección transversal de la barra.
- f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
- N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$A : \underline{0.79} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{3618.76} \text{ kp/cm}^2$$

$$N_{cr} : \underline{\text{¥}}$$

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{0.673} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H2+0.75·N(R)1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 1.821 t

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$N_{t,Rd}$: 2.707 t

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 0.79 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 3446.43 kp/cm²

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 3618.76 kp/cm²

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)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a tracción - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3, y CTE DB SI, Anejo D)

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{0.713} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+0.5·V(90°)H2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.604} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{0.848} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{0.79} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{1079.35} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$f_{y,q}$: Límite elástico reducido para la temperatura que alcanza el perfil.

$f_{y,q}$: 1079.35 kp/cm²

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 3618.76 kp/cm²

$k_{y,q}$: Factor de reducción del límite elástico para la temperatura que alcanza el perfil.

$k_{y,q}$: 0.30

$g_{M,q}$: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$g_{M,q}$: 1.00

Resistencia a compresión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7, y CTE DB SI, Anejo D)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Situación de incendio (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8, y CTE DB SI, Anejo D)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

8. Uniones

Una vez obtenidos los resultados y perfiles adecuados de las barras, se procederá al cálculo de las uniones. Todas serán atornilladas, con placas soldadas en algunos puntos.

8.1. Especificaciones

Norma:

CTE DB SE-A: Código Técnico de la Edificación. Seguridad estructural. Acero. Apartado 8.6. Resistencia de los medios de unión. Uniones soldadas.

Materiales:

- Perfiles (Material base): S355.

- Material de aportación (soldaduras): Las características mecánicas de los materiales de aportación serán en todos los casos superiores a las del material base. (4.4.1 CTE DB SE-A)

Disposiciones constructivas:

1) Las siguientes prescripciones se aplican a uniones soldadas donde los espesores de las piezas a unir sean al menos de 4 mm.

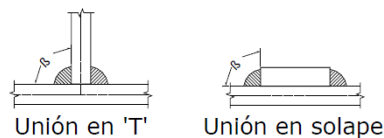
2) Los cordones de las soldaduras en ángulo no podrán tener un espesor de garganta inferior a 3 mm ni superior al menor espesor de las piezas a unir.

3) Los cordones de las soldaduras en ángulo cuyas longitudes sean menores de 40 mm o 6 veces el espesor de garganta, no se tendrán en cuenta para calcular la resistencia de la unión.

4) En el detalle de las soldaduras en ángulo se indica la longitud efectiva del cordón (longitud sobre la cual el cordón tiene su espesor de garganta completo). Para cumplirla, puede ser necesario prolongar el cordón rodeando las esquinas, con el mismo espesor de garganta y una longitud de 2 veces dicho espesor. La longitud efectiva de un cordón de soldadura deberá ser mayor o igual que 4 veces el espesor de garganta.

5) Las soldaduras en ángulo entre dos piezas que forman un ángulo β deberán cumplir con la condición de que dicho ángulo esté comprendido entre 60 y 120 grados. En caso contrario:

- Si se cumple que $\beta > 120$ (grados): se considerará que no transmiten esfuerzos.
- Si se cumple que $\beta < 60$ (grados): se considerarán como soldaduras a tope con penetración parcial.



Comprobaciones:

a) Cordones de soldadura a tope con penetración total:

En este caso, no es necesaria ninguna comprobación. La resistencia de la unión será igual a la de la más débil de las piezas unidas.

b) Cordones de soldadura a tope con penetración parcial y con preparación de bordes:

Se comprueban como soldaduras en ángulo considerando un espesor de garganta igual al canto nominal de la preparación menos 2 mm (artículo 8.6.3.3b del CTE DB SE-A).

c) Cordones de soldadura en ángulo:

Se realiza la comprobación de tensiones en cada cordón de soldadura según el artículo 8.6.2.3 CTE DB SE-A.

Se comprueban los siguientes tipos de tensión:

$$\text{Tensión de Von Mises } \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\text{Tensión normal } \sigma_{\perp} \leq K \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

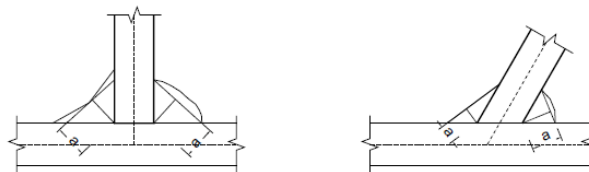
Donde $K = 1$.

Los valores que se muestran en las tablas de comprobación resultan de las combinaciones de esfuerzos que hacen máximo el aprovechamiento tensional para

ambas comprobaciones, por lo que es posible que aparezcan dos valores distintos de la tensión normal si cada aprovechamiento máximo resulta en combinaciones distintas.

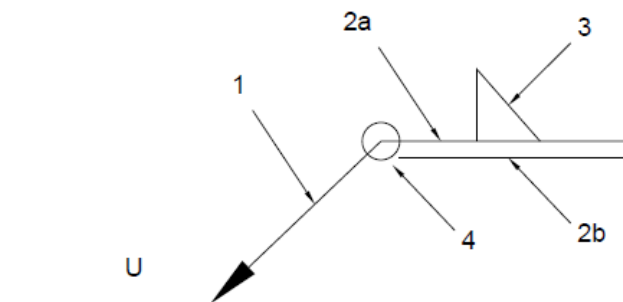
8.2. Referencias y simbología

a[mm]: Espesor de garganta del cordón de soldadura en ángulo, que será la altura mayor, medida perpendicularmente a la cara exterior, entre todos los triángulos que se pueden inscribir entre las superficies de las piezas que hayan alcanzado la fusión y la superficie exterior de las soldaduras. 8.6.2.a CTE DB SE-A



L[mm]: longitud efectiva del cordón de soldadura

Método de representación de soldaduras



Referencias:

1: línea de la flecha

2a: línea de referencia (línea continua)

2b: línea de identificación (línea a trazos)

3: símbolo de soldadura

4: indicaciones complementarias

U: Unión

Designación	Ilustración	Símbolo
Soldadura en ángulo		
Soldadura a tope en 'V' simple (con chaflán)		
Soldadura a tope en bisel simple		
Soldadura a tope en bisel doble		
Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio		
Soldadura combinada a tope en bisel simple y en ángulo		
Soldadura a tope en bisel simple con lado curvo		

Representación	Descripción
	Soldadura realizada en todo el perímetro de la pieza
	Soldadura realizada en taller
	Soldadura realizada en el lugar de montaje

8.3. Tipos de uniones

Las uniones resultantes se clasifican en 3 grupos:

- Uniones entre barras.
- Placas de anclaje.

- Uniones de arriostramientos.

Las uniones se clasificarán dentro del Documento 4 – Planos. En el aparecerán todas las uniones para poder diferenciar su construcción y su estructura.

9. Cimentaciones

La cimentación es la parte de la estructura, generalmente enterrada, para transmitir el peso o carga de la estructura al terreno. En este caso es de hormigón armado.

9.1. Tipos de zapatas

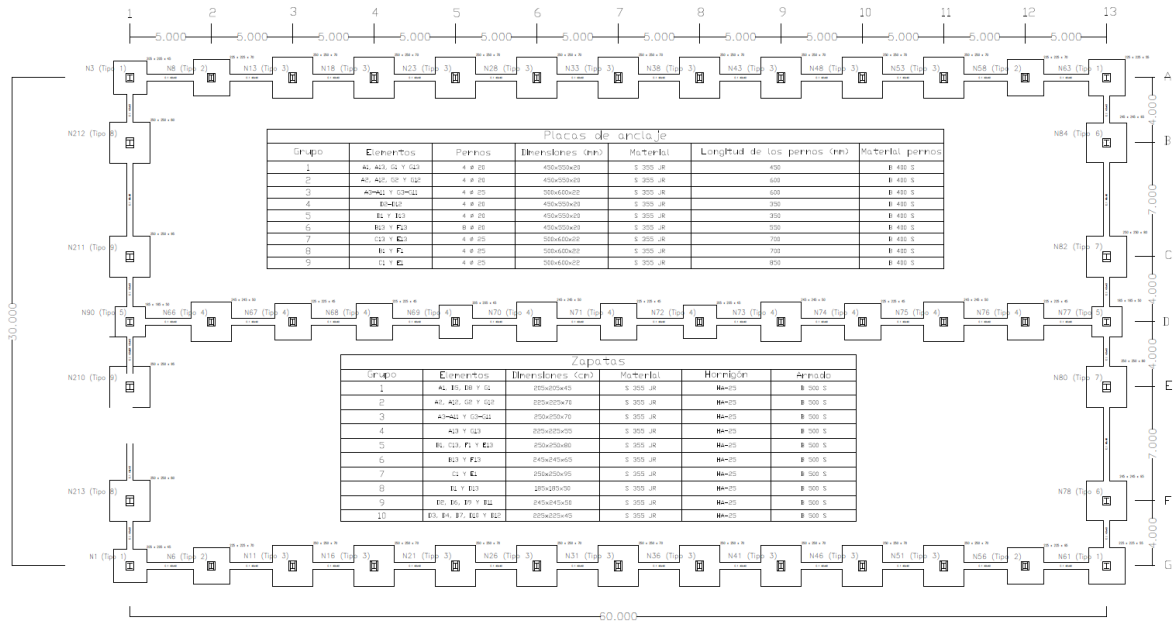


Figura 58. Cimentación

Hay 10 tipos de zapatas que se especificaran en el Documento 4 – Planos.

Zapatas					
Grupo	Elementos	Dimensiones (cm)	Material	Hormigón	Armado
1	A1, D5, D8 Y G1	205x205x45	S 355 JR	HA-25	B 500 S
2	A2, A12, G2 Y G12	225x225x70	S 355 JR	HA-25	B 500 S
3	A3-A11 Y G3-G11	250x250x70	S 355 JR	HA-25	B 500 S
4	A13 Y G13	225x225x55	S 355 JR	HA-25	B 500 S
5	B1, C13, F1 Y E13	250x250x80	S 355 JR	HA-25	B 500 S
6	B13 Y F13	245x245x65	S 355 JR	HA-25	B 500 S
7	C1 Y E1	250x250x95	S 355 JR	HA-25	B 500 S
8	D1 Y D13	185x185x50	S 355 JR	HA-25	B 500 S
9	D2, D6, D9 Y D11	245x245x50	S 355 JR	HA-25	B 500 S
10	D3, D4, D7, D10 Y D12	225x225x45	S 355 JR	HA-25	B 500 S

Figura 59. Tipos de zapatas.

9.2. Vigas de atado

Todas las vigas de atado entre zapatas tendrán la misma sección.

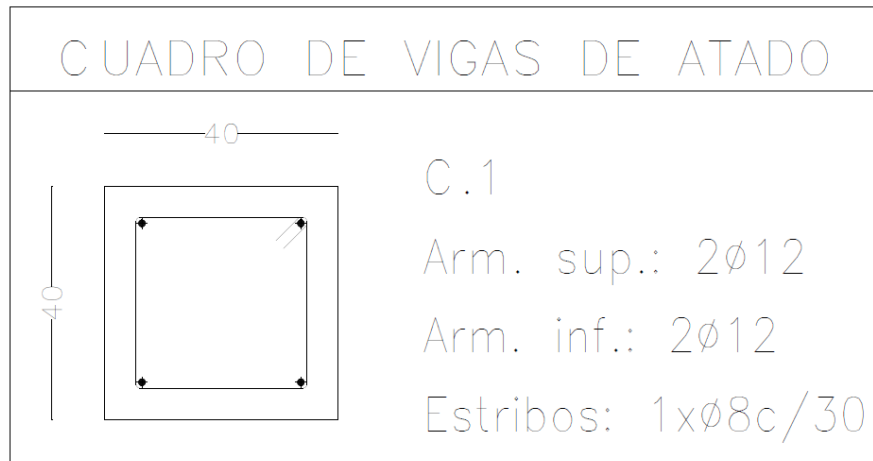


Figura 60. Sección vigas de atado.

10. Solera

Según la norma NTE-RSS en lo referente a soleras, para un uso como el que se le va a dar en una nave industrial como la que se esta diseñando se utilizan soleras pesadas (RSS-6), sobrecarga estática superior a 5 t/m².

La solera se ejecuta de la siguiente manera:

- 1) Capa: arena de río con tamaño máximo de árido de 0,5 cm formando una capa de 15 cm de espesor, extendida sobre firme estabilizado, consolidado y compactado.
- 2) Capa: lámina aislante de polietileno.
- 3) Capa: Hormigón formando una capa de 20cm de espesor, extendido sobre la lámina aislante, terminando la superficie mediante reglado. El curado se realizará mediante riego que no produzca deslavado.

También se dispondrá de juntas de retracción así como juntas de aislamiento.

11.Red de saneamiento

Se requiere una instalación separativa de fecales y pluviales para la red de saneamiento.

11.1. Instalación de saneamiento de aguas pluviales

Se utilizará tubos de P.V.C., así se evita la acumulación de agua como en las tuberías de fibrocemento.

Se utilizará la norma NTE-ISS referente a saneamiento para proyectar las dimensiones de los elementos que constituyen la red de saneamiento tales como: canalones, bajantes, colectores y arquetas. Además, se cumplirá lo que establece el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico de Salubridad.

- Sumideros

De acuerdo al documento DB-SE-HS del CTE se regula la disposición de los sumideros para facilitar la evacuación de las aguas pluviales recogidas en la cubierta de la nave.

El número de sumideros depende de la superficie de la cubierta. Para saber el número de sumideros se hace uso de la tabla 4.6 extraída del CTE (DB-SE-HS apartado 4.2.1).

Superficie de cubierta en proyección horizontal (m ²)	Número de sumideros
S < 100	2
100 ≤ S < 200	3
200 ≤ S < 500	4
S > 500	1 cada 150 m ²

Figura 61. Número de sumideros en función de la superficie de cubierta.

En nuestro caso, se contará con 12 sumideros, debido a que se cuenta con una superficie de 1800 m², 6 a cada lado de la cubierta.

- Canalones:

Las dimensiones de los canalones también dependen del volumen de agua a evacuar y por lo tanto de la superficie de cubierta en proyección horizontal.

Se debe conocer la intensidad pluviométrica de la zona donde se sitúa la nave, mostrada posteriormente del DB-SE-HS.

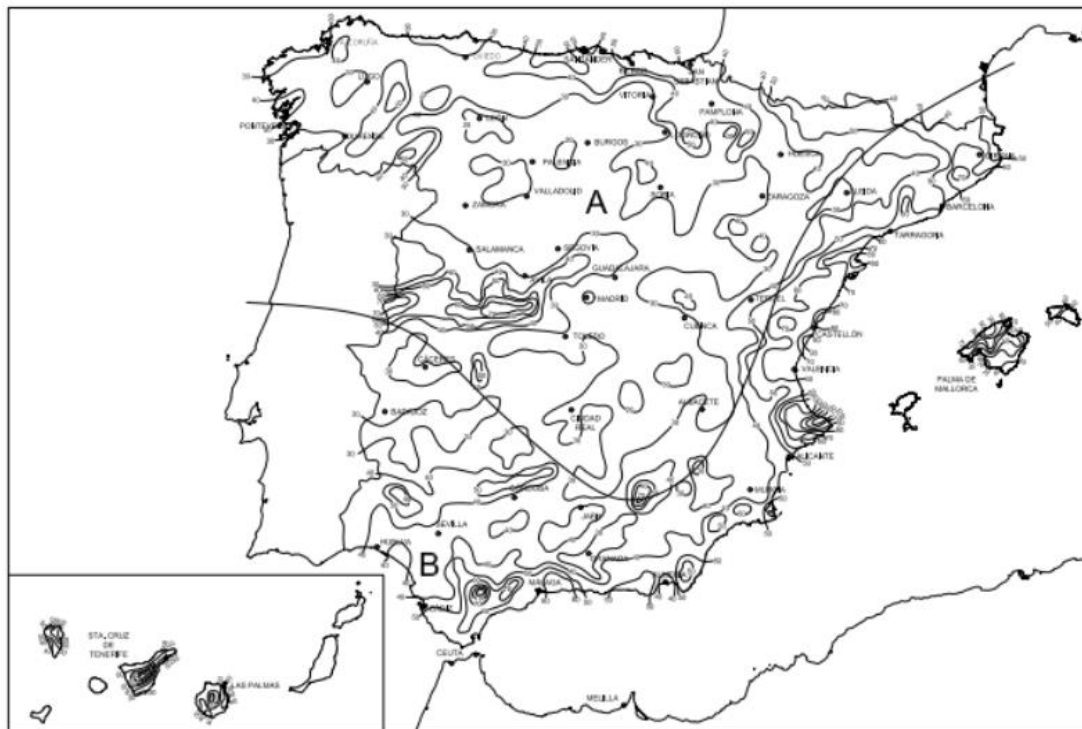


Figura 62. Intensidad pluviométrica e isoyetas.

Donde se observa que la nave se ubica en la zona isoyeta A – 40, por consiguiente, en la tabla se indica que la intensidad pluviométrica es igual 125 mm/h, como se puede ver en la siguiente imagen.

Isoyeta	Intensidad Pluviométrica i (mm/h)											
	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

Figura 63. Intensidad pluviométrica.

En segundo lugar, se deberá de calcular la superficie en proyección horizontal que abarcara cada canalón por lo que si la superficie total es de 1800 m² la superficie a tener en cuenta para el canalón será la mitad 900 m². También se deberá considerar la inclinación de los canalones que será de un 4%.

El CTE establece que para un régimen con intensidad pluviométrica diferente de 100 mm/h, debe aplicarse un factor f de corrección a la superficie servida tal que: $f = i/100$.

Por tanto, con la intensidad pluviométrica calculada anteriormente se obtiene dicho factor de corrección:

$$f = i/100 = 125/100 = 1,25 \rightarrow$$

$$\text{Superficie por canalón} = 900 \cdot 1,25 = 1125 \text{ m}^2.$$

Entrando con este dato en la tabla 4.7 del DB-SE-HS que se observa a continuación se obtiene el diámetro mínimo que deberán tener los canalones.

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

Figura 64. Diámetros de los canalones.

Se adopta el valor del diámetro que corresponde al valor de la superficie mayor, para ir del lado de la seguridad, más cercana a la necesaria, por lo tanto, el diámetro de los canalones será de 250 mm.

- Bajantes:

Se sigue con el cálculo de los canalones establecido en 900 m² para obtener a través de la tabla 4.8 del DB-SE-HS el diámetro de las bajantes.

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

Figura 65. Diámetros de bajantes.

Se adopta el valor del diámetro que corresponde al valor de la superficie mayor, para ir del lado de la seguridad, más cercana a la necesaria, por lo tanto, el diámetro de las bajantes será de 160 mm como mínimo.

• Colectores:

Son tuberías que se encuentran bajo tierra para transportar el agua de recogida en las arquetas hasta los pozos de registro, estas tuberías tienen una pendiente de entorno al 4%.

Como el caudal de recogida en algunas arquetas puede ser mayor que en otras, se dimensionará primero para la mitad de la superficie de la cubierta (un faldón) y después para la cubierta entera.

La superficie de un faldón con la intensidad pluviométrica es de 1125 m² y de acuerdo a la tabla 4.9 del DB-SE-HS, el diámetro de mínimo de los colectores individuales es de 160 mm.

Tabla 4.9 Diámetro de los colectores de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Superficie proyectada (m ²)			Diámetro nominal del colector (mm)
Pendiente del colector			
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

Figura 66. Diámetro de los colectores.

Y del colector final, con una superficie total (cubierta completa con la intensidad pluviométrica) de 2250 m² es de 250 mm de diámetro como mínimo.

• Arquetas:

Se situarán debajo de cada bajante, separadas de la fachada, y donde exista algún cambio de dirección. Con una tubería de 160mm de diámetro como mínimo que le llegará se obtiene de acuerdo a la tabla 4.13 del CTE el tamaño mínimo de arqueta.

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

Figura 67. Dimensiones de arquetas.

Se establece que las dimensiones mínimas de las arquetas para los tramos con tubería de diámetro mínimo 160 mm será de 60x60 cm, al igual que para la salida final con tubería de diámetro mínimo de 250 mm.

11.2. Instalación de saneamiento de aguas fecales

Se hará uso de un sistema similar de bajantes de PVC y colectores enterrados hasta arquetas registrables.

La instalación de saneamiento se ajustará a un sistema unitario que evacue todo tipo de aguas por una sola red de conductos.

Se destaca el requisito impuesto por el Código Técnico de la Edificación, por el cual se establece el dimensionamiento de la red de aguas residuales de forma independiente de la red referente a pluviales.

En la planta baja sólo se dispone del baño para caballeros y el de señoras. Es decir, 3 inodoros, 3 urinarios y 2 lavabos.

La adjudicación de unidades de desagüe a cada tipo de aparato y los diámetros mínimos de los sifones y las derivaciones individuales correspondientes se establecen en la tabla 4.1 en función del uso.

Tabla 4.1 UD's correspondientes a los distintos aparatos sanitarios

Tipo de aparato sanitario	Unidades de desagüe UD		Diámetro mínimo sifón y derivación individual (mm)	
	Uso privado	Uso público	Uso privado	Uso público
Lavabo	1	2	32	40
Bide	2	3	32	40
Ducha	2	3	40	50
Bañera (con o sin ducha)	3	4	40	50
Inodoro	Con sistema	4	5	100
	Con fluxómetro	8	10	100
Urinario	Pedestal	-	4	50
	Suspendido	-	2	40
Fregadero	En batería	-	3.5	-
	De cocina	3	6	40
Lavadero	De laboratorio, restaurante, etc.	-	2	40
	Vertedero	3	-	40
Fuente para beber	-	8	-	100
Sumidero sifónico	-	0.5	-	25
Lavavajillas	1	3	40	50
Lavadora	3	6	40	50
Cuarto de baño (lavabo, inodoro, bañera y bide)	Inodoro con sistema	7	-	100
	Inodoro con fluxómetro	8	-	100
Cuarto de aseo (lavabo, inodoro y ducha)	Inodoro con sistema	6	-	100
	Inodoro con fluxómetro	8	-	100

Figura 68. Unidades de desagüe.

En definitiva, habrá:

- 3 inodoros, 4 UD de desagüe por inodoro. Total de 12 UD. Ø100mm.
- 3 urinarios, 1 UD de desagüe por inodoro. Total de 3 UD. Ø32mm
- 2 lavabos, 1 UD de desagüe por inodoro. Total de 2 UD. Ø32mm.
- Ramales colectores:

De acuerdo a la Tabla 4.3 "Diámetros de ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante" del CTE-DB-HS.

Tabla 4.3 Diámetros de ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante

Máximo número de UD			Diámetro (mm)
Pendiente			
1 %	2 %	4 %	
-	1	1	32
-	2	3	40
-	6	8	50
-	11	14	63
-	21	28	75
47	60	75	90
123	151	181	110
180	234	280	125
438	582	800	160
870	1.150	1.680	200

Figura 69. Diámetro de ramales colectores.

Para una pendiente del 4% y una cantidad total de UD de 15 se adopta un diámetro mínimo de 75 mm.

- Bajantes de aguas residuales:

El dimensionado de las bajantes debe realizarse de forma tal que no se rebase el límite de ± 250 Pa de variación de presión y para un caudal tal que la superficie ocupada por el agua no sea mayor que 1/3 de la sección transversal de la tubería.

El diámetro de las bajantes se obtiene en la tabla 4.4 del CTE-DB-HS como el mayor de los valores obtenidos considerando el máximo número de UD en la bajante y el máximo número de UD en cada ramal en función del número de plantas.

Tabla 4.4 Diámetro de las bajantes según el número de alturas del edificio y el número de UD

Máximo número de UD, para una altura de bajante de:		Máximo número de UD, en cada ramal para una altura de bajante de:		Diámetro (mm)
Hasta 3 plantas	Más de 3 plantas	Hasta 3 plantas	Más de 3 plantas	
10	25	6	6	50
19	38	11	9	63
27	53	21	13	75
135	280	70	53	90
360	740	181	134	110
540	1.100	280	200	125
1.208	2.240	1.120	400	160
2.200	3.600	1.680	600	200
3.800	5.600	2.500	1.000	250
6.000	9.240	4.320	1.650	315

Figura 70. Diámetro de las bajantes.

Se obtiene con los valores anteriores de 15 UD y pendiente del 4% un diámetro mínimo de 50mm.

- Colectores horizontales de aguas residuales:

Los colectores horizontales se dimensionan para funcionar a media de sección, hasta un máximo de tres cuartos de sección, bajo condiciones de flujo uniforme.

El diámetro de los colectores horizontales se obtiene en la tabla 4.5 del CTE-DBHS en función del máximo número de UD y de la pendiente.

Tabla 4.5 Diámetro de los colectores horizontales en función del número máximo de UD y la pendiente adoptada

Máximo número de UD			Diámetro (mm)
1 %	2 %	4 %	
-	20	25	50
-	24	29	63
-	38	57	75
96	130	160	90
264	321	382	110
390	480	580	125
880	1.056	1.300	160
1.600	1.920	2.300	200
2.900	3.500	4.200	250
5.710	6.920	8.290	315
8.300	10.000	12.000	350

Figura 71. Diámetro de los colectores horizontales.

Se obtiene con los valores anteriores de 15 UD y pendiente del 4% un diámetro mínimo de 50 mm.

- Arquetas de fecales:

La Tabla 4.13 “Dimensiones de las arquetas” del CTE-DB-HS determina la longitud L y anchura A mínimas necesarias de una arqueta según el diámetro del colector de salida de ésta.

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

Figura 72. Dimensiones de las arquetas.

Las dimensiones necesarias son de 40x40cm.

12. Suministro de aguas

La red de distribución de agua procederá de la red municipal de abastecimiento, que asegura la potabilidad del agua.

El Ayuntamiento debe proporcionar el abastecimiento del agua con las medidas sanitarias pertinentes.

Los cálculos de toda la instalación se ajustan a lo expuesto en Código Técnico de Edificación, CTE-Salubridad, Sección HS-4 Suministro de Agua.

Los materiales empleados en la red de distribución de agua deben cumplir las disposiciones del Código Técnico para Instalaciones de suministro de agua.

Las características más destacadas exigidas son:

- Para las tuberías y accesorios deben emplearse materiales que no produzcan concentraciones de sustancias nocivas que excedan los valores permitidos por el RD 140/2003, de 7 de febrero.
- No deben modificar las características organolépticas ni la salubridad del agua suministrada.
- Deben ser resistentes a la corrosión interior.
- Deben ser capaces de funcionar eficazmente en las condiciones de servicio previstas.
- No deben presentar incompatibilidad electroquímica entre sí.
- Deben ser resistentes a temperaturas de hasta 400 °C, y a las temperaturas exteriores de su entorno inmediato.
- Deben ser compatibles con el agua suministrada y no deben favorecer la migración de sustancias de los materiales en cantidades que sean un riesgo para la salubridad y limpieza del agua de consumo humano.
- Su envejecimiento, fatiga, durabilidad y las restantes características mecánicas, físicas o químicas, no deben disminuir la vida útil prevista de la instalación.
- Para cumplir con las condiciones anteriores pueden utilizarse revestimientos, sistemas de protección o sistemas de tratamiento de agua.
- La instalación de suministro de agua debe tener características adecuadas para evitar el desarrollo de gérmenes patógenos y no favorecer el desarrollo de la biocapa.

Se diseñará una red de abastecimiento de agua fría para los aseos y una red de agua caliente para los aseos también. La producción de agua caliente se llevará a cabo mediante un calentador acumulador eléctrico, colocado en uno de los aseos. Este abastecerá de agua caliente a ambos aseos. La conducción desde la red municipal, irá enterrada y las tuberías serán de P.V.C

Para calcular la instalación de fontanería se seguirá la norma NTE-IFF para agua fría y NTE-IFC para agua caliente.

- Agua fría:

A partir de la siguiente tabla hallaremos el diámetro de la tubería según el número de grifos servidos por el tramo calculado:

Tabla 1		N.º total de grifos servidos por el tramo										
Uso del edificio	Público	3	8	15	33	51	99	206	322	663	1217	2008
	Privado	3	9	18	42	67	134	291	409	1027	1929	3286
Tipo de tubería	Acero	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
	Cobre o PVC	10	15	20	25	30	40	60	80	100	125	150
		Diámetro D en mm										

Figura 73. Número de grifos por tramo.

Debido a que el número de grifos que hay en la nave es de 2 y que se pondrán tuberías de PVC, se obtiene mediante la tabla que el diámetro de la tubería será de 10 mm.

- Agua caliente:

A partir de la siguiente tabla hallaremos el diámetro de la tubería según el número de grifos por el tramo calculado:

Tabla 1		Número de grifos servidos por el tramo										
Uso del edificio	Público	3	8	15	33	51	99	206	322	663	1217	2008
	Privado	3	9	18	42	67	134	291	469	1027	1929	3286
Tipo de tubería	Acero	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
	Cobre	18	22	28	36	42	50	80	80	100	125	160
		Diámetro D en mm										

Figura 74. Número de grifos por tramo.

En este caso se tienen 2 grifos de agua caliente y como el uso del edificio es público con tuberías de PVC, se obtiene un diámetro de 18 mm.

