



**UNIVERSITAT JAUME I**

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES**

**EXPERIMENTALS**

**MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA INDUSTRIAL**

***CÁLCULO COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA  
DE UNA NAVE INDUSTRIAL CON BASE  
EMPOTRADA Y ARTICULADA. COMPARACIÓN  
ECONÓMICA Y MEDIOAMBIENTAL.***

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**AUTORA**

Marta Beltran Pruñonosa

**DIRECTOR**

Vicente Albero Gabarda

Castellón, octubre de 2023



# ÍNDICE

MEMORIA .....	5
ANEXOS .....	52
PLIEGO DE CONDICIONES .....	129
MEDICIONES Y PRESUPUESTO .....	145
IMPACTO MEDIOAMBIENTAL .....	178
PLANOS .....	188



**MEMORIA**



# Índice

1. Justificación .....	9
2. Objetivos.....	10
3. Alcance .....	11
4. Antecedentes.....	12
5. Emplazamiento .....	13
6. Normas y referencias .....	14
6.1. Disposiciones legales .....	14
6.2. Normas .....	14
6.3. Programas de cálculo .....	14
6.4. Bibliografía.....	14
7. Sistema estructural.....	16
7.1. Dimensiones de la nave.....	16
7.2. Componentes de la estructura .....	17
7.2.1. Estructura Portante.....	17
7.2.2. Cerramientos .....	17
7.2.3. Arriostramiento .....	17
7.2.4. Uniones .....	18
7.2.5. Cimentación .....	18
7.3. Acciones sobre la estructura.....	19
7.3.1. Acciones Permanentes (G).....	19
7.3.2. Acciones Variables (Q).....	19
7.3.3. Acciones Accidentales (A) .....	24
7.4. Dimensionado de la nave .....	25
7.4.1. Generador de Pórticos.....	25
7.4.2. Cype3D Nave Empotrada .....	30
7.4.3. Cype3D Nave Articulada .....	41
8. Resumen de presupuesto y mediciones .....	46
8.1. Resumen mediciones.....	46
8.2. Presupuesto nave empotrada .....	46
8.3. Presupuesto nave articulada .....	47

9. Impacto medioambiental .....	48
10. Viabilidad del proyecto.....	49
11. Conclusiones.....	50

## 1. Justificación

El presente proyecto nace con el fin de poder estudiar la viabilidad económica y medioambiental de una nave industrial, por una parte, con base empotrada y, por otra, con base articulada.

Es común utilizar en España las naves industriales con bases empotradas, mientras que en Reino Unido se usan con base articulada. Esto se debe a la calidad del terreno que hay en cada uno de los dos territorios. Se pretende estudiar si fuera viable la construcción de una nave articulada en España, tanto ambiental como económicamente.

Una de las principales restricciones en la construcción de las naves industriales es el coste económico que supone. En el caso de naves empotradas, se utiliza una menor cantidad de acero que en las articuladas, pero la cantidad de hormigón es mayor para poder realizar la cimentación. Así pues, ¿en una misma nave industrial expuesta a las mismas condiciones, sería más económico una nave con base articulada o una con base empotrada?

Por otra parte, otra restricción muy interesante a tener en cuenta es conocer cuánta cantidad de CO<sub>2</sub> se emite por el acero y por el hormigón, ya que hay que tener en cuenta la huella de carbono que se estará realizando con la construcción de la nave.

Teniendo en cuenta estas dos principales restricciones, se pretende realizar un análisis exhaustivo de estos dos tipos de naves y obtener conclusiones de si es más o menos viable una u otra.

## 2. Objetivos

Se desea modelar las dos naves para poder realizar los estudios en ambas. En primer lugar, se quiere conocer cuál de las dos naves es más viable económicamente, ya que en cada una de las naves se utilizarán distintas cantidades de acero y hormigón. En segundo lugar, se quiere conocer cuál de las dos naves es más viable ambientalmente. Así pues, se desea conocer las emisiones de CO<sub>2</sub>, tanto del acero como del hormigón, de ambas naves. Finalmente, se desea conocer si teniendo en cuenta estos dos estudios es más viable realizar una nave articulada o empotrada en España, para así conocer si se pudiera sustituir la construcción de naves empotradas por la construcción de naves articuladas.

### 3. Alcance

En primer lugar, se realizará el modelado de los dos prototipos de naves, tanto la empotrada como la articulada, con la aplicación CYPE. Para ello, se realizará una nave de dimensiones estándar con celosía en los pórticos interiores. Allí, se dimensionarán los perfiles a utilizar y la cimentación en función del anclaje utilizado. Seguidamente, se pasará a la realización de los planos, en los que se detallarán ambas estructuras. A continuación, se realizará el estudio económico, en el que se tendrán en cuenta los materiales utilizados. Para ello, se cuenta con la ayuda de generadores de precios web. Después, se realizará el estudio medioambiental, en el que se medirán las emisiones de CO<sub>2</sub> de ambas naves con la ayuda de páginas web, como Arcelor o ITeC. Finalmente, solo quedará realizar la comparativa entre ambas naves y llegar a las conclusiones que respondan a los objetivos planteados.

## 4. Antecedentes

En primer lugar, es necesario conocer por qué existen varios tipos de estructuras posibles.

La principal característica que implica que se construyan los dos tipos de naves es la tipología del suelo. El terreno es el que implica que se pueda o no construir un tipo de cimentación u otro. A grandes rasgos, en terrenos flojos se implica el uso de estructuras con bases articuladas, con una gran cimentación. Por el contrario, en terrenos resistentes se permite el uso de naves con bases empotradas, en el que se reduce el tamaño de la cimentación necesaria.

Para conocer las características de los suelos en los que construir una nave industrial es necesaria la realización de un estudio geotécnico del suelo. Este estudio permite conocer la estabilidad del terreno, ya que el suelo puede presentar suelos expansivos, deslizamientos o problemas de asentamiento diferencial. Conocer esto es crítico, ya que sobre este suelo se realizará la cimentación de la nave que será la encargada de soportar todo el peso y las cargas dinámicas.

Así pues, la principal característica del suelo a comprobar es la tensión admisible. Este dato cuantifica la capacidad portante o resistencia del terreno, esto es, la carga que puede soportar el suelo sin hundirse, medido en  $\text{Kg/cm}^2$ . La tensión admisible oscila entre los 0,5 y 3  $\text{Kg/cm}^2$ , siendo terrenos con menor tensión admisible problemáticos para construir y garantizar una estabilidad de los cimientos. Además, de la tensión admisible, se requiere conocer también el Coeficiente de Balasto y el Nivel del Firme, que indicarán la rigidez del terreno y la profundidad a la que se encuentra un estrato apto para el sustento de toda la carga.

## 5. Emplazamiento

La nave que estudiar se ubica en el Polígono Industrial Mijares, en la localidad de Almazora (Castellón), en Calle de la Fusta nº14. La parcela es de tipo “Suelo sin edificar, obras urbanizables, jardinería, construcción ruinoso”. Tiene una superficie total de 2.085 m<sup>2</sup>, de unas dimensiones aproximadas de 30 x 70 m.

En el *Plano 1* se muestra la situación y emplazamiento de la parcela, indicada en el plano catastral con el número 27.

## 6. Normas y referencias

### 6.1. Disposiciones legales

Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

### 6.2. Normas

- Fundamentación: EHE-08
- Aceros laminados y armados: CTE DB SE-A
- Categoría de uso: G1. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento. No concomitante con el resto de acciones variables

### 6.3. Programas de cálculo

- CYPE – Generador de pórticos
- CYPE – CYPE 3D
- AutoCAD

### 6.4. Bibliografía

- **Código Técnico de la Edificación.** Documento Básico SE – Seguridad estructural.
- **Código Técnico de la Edificación.** Documento Básico SE-AE – Seguridad estructural. Acciones en la edificación.
- **Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08**
- **Declaración Ambiental de Producto.** “Structural Hollow Section”.
- **Declaración Ambiental de Producto.** “Reinforcing steel in bars”.
- **Declaración Ambiental de Producto.** “Structural Steel sections and merchant bars”.
- **Declaración Ambiental de Producto.** “CEM-II-IECA003-002-AMP”.
- Hierros Leitz. *PERFILES ABIERTOS CONFORMADOS EN FRÍO PERFIL CF. UNE 36-573-79.*  
<[http://www.hierrosleitza.com/upload/secciones-publicas/perfil-c-tubo-abierto\\_original.pdf](http://www.hierrosleitza.com/upload/secciones-publicas/perfil-c-tubo-abierto_original.pdf)>
- Sener. *Naves industriales con acero.*  
<<https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2012/6481/naves%20acero-%20Montevideo.pdf>>

- LinkedIn. *Comprender las propiedades del suelo: clave para el éxito en la construcción de naves industriales.*

<<https://es.linkedin.com/pulse/comprender-las-propiedades-del-suelo-clave-para-el-exito-en-la-construccion>>

- Structuralia. *Tensión Admisible del terreno: El conocimiento de los suelos.*

<<https://blog.structuralia.com/tension-admisible-terreno-conocimiento-suelos>>

- Library. *Warren y Warren con montantes.*

<<https://1library.co/article/warren-warren-montantes-celos%C3%ADas-estudio-param%C3%A9trico-soluciones-dise%C3%B1o.qmjnlj7q>>

- Industrial Analytics Platform – Unido. *¿Cómo pueden el acero y el cemento impulsar la década de acción en el contexto del cambio climático?*

<<https://iap.unido.org/es/articles/como-pueden-el-acero-y-el-cemento-impulsar-la-decada-de-accion-en-el-contexto-del-cambio>>

## 7. Sistema estructural

### 7.1. Dimensiones de la nave

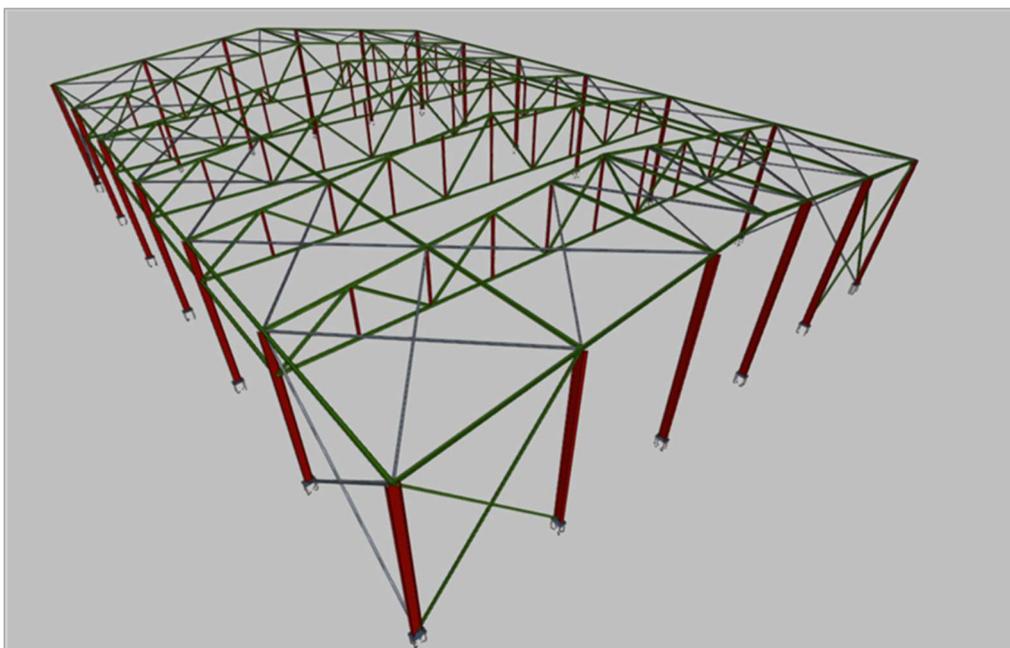
La nave consta de una planta con geometría rectangular y estructura metálica. Las dimensiones de la nave son 25 m de luz y 36 m de profundidad, siendo un área total de 900 m<sup>2</sup>. La cubierta, plana a dos aguas, crea un ángulo  $\alpha$  de 5,52°, teniendo una altura en cumbre de 7,5 m y en los extremos 6 m.

Los laterales están formados por crujiás de 6m, teniendo un total de 7 pórticos. El primer tipo de pórticos, los de fachada, disponen de cuatro pilares centrales, creando vanos de 5 m. Los segundos, los pórticos interiores, disponen en su estructura de una celosía tipo Warren.

La estructura metálica y las placas de anclaje están formadas por perfiles de sección constante de acero tipo S275. El acero para la cimentación y los pernos para las placas de anclaje son de acero B500 S ( $Y_s=1,55$ ). Finalmente, el hormigón utilizado para la cimentación es hormigón HA-25 ( $Y_c=1,5$ ) y hormigón de limpieza.

Estas son las características generales para los dos tipos de naves. La cantidad de acero y hormigón necesarios variarán según los requerimientos de cada estructura, sin cambiar las dimensiones anteriormente descritas de la nave.

En la *Figura 1* se muestra una maqueta 3D de la nave a estudiar.



*Figura 1. 3D nave.*

## 7.2. Componentes de la estructura

### 7.2.1. Estructura Portante

La estructura portante está compuesta por perfiles de varios tipos dado que se dimensionan según la estructura y cargas a soportar. Aparecen perfiles IPE, perfiles circulares y perfiles en L. Todos ellos compuestos por acero S275.

### 7.2.2. Cerramientos

Los cerramientos están compuestos por panel sándwich para forjado, sobre estructura de acero. Constan de una cara exterior de placa de yeso reforzada con fibras, núcleo aislante de espuma de poliestireno extruido y una cara interior de placa de yeso también reforzada con fibras.

Estas placas se colocarán sobre las correas de tipo C. Se trata de correas tipo CF 200x2.0. En la *Figura 2* se muestra el tipo de correa a utilizar.



*Figura 2. Correa tipo C.*

### 7.2.3. Arriostramiento

Los arriostramientos, aunque son elementos secundarios, se requieren en la estructura ya que ayudan a transferir las tensiones de las cargas y dispersarlas para que no se concentren en un solo punto. Ayudan a absorber empujes del viento y a limitar las longitudes de pandeo.

El arriostramiento de la nave está formado por las Cruces de San Andrés y un arriostramiento superior. Las Cruces de San Andrés se encuentran entre los pilares de los extremos del pórtico de fachada y entre los pórticos frontal y el interior contiguo. Los arriostramientos superiores se encuentran dispuestos entre los pilares extremos de los pórticos interiores. Estos elementos son perfiles tipo L trabajando a tracción, ya que, como se demostrará posteriormente, un perfil circular rígido no será suficiente para soportar las cargas de la estructura.

#### **7.2.4. Uniones**

Es necesario indicar el tipo de uniones que aparecen en la unión de perfiles simples para crear la estructura, además de indicar en qué modo se fijarán los perfiles, ya sean simples o compuestos, con el resto de la construcción.

Aparecen dos tipos de uniones en la estructura de manera principal, las uniones rígidas y las articuladas. Las rígidas son aquellas que impiden la rotación entre los perfiles conectados, mientras que las articuladas son aquellas que permiten dicha rotación y, por consecuencia, no existe un ángulo fijo entre los dos perfiles. Hay que destacar que el tipo de unión será soldado, tanto en uniones rígidas como en articuladas.

#### **7.2.5. Cimentación**

Para la cimentación de la estructura se requieren zapatas de hormigón. La función que realizan es transmitir al terreno las tensiones de la estructura que le llegan a través del pilar que soporta cada una de ellas, además de anclar la estructura al suelo. Para unir el pilar y la zapata se requiere una placa de anclaje metálica, que queda soldada al pilar atornillada a la zapata a través de pernos de anclaje.

### 7.3. Acciones sobre la estructura

Para dimensionar la estructura, el primer paso es conocer las cargas que deberá soportar. Estas cargas se deben tener en cuenta ya que, aplicar una carga superior a la que puedan soportar crearía un daño a la estructura que podría llevarla al colapso.

Estas cargas serán comunes tanto para la estructura con base empotrada como para la estructura con base articulada.

Las acciones que aparecen sobre la estructura se pueden clasificar en tres tipos, las acciones permanentes (G), las variables (Q) y las accidentales (A). A continuación, se detalla un poco más de cada una de ellas.

#### 7.3.1. Acciones Permanentes (G)

Las acciones permanentes son aquellas cargas que aparecen en todo momento de forma constante sobre la estructura.

##### 7.3.1.1. Peso Propio

Como peso propio de la estructura se considera el peso de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, que en este caso no se utilizan.

El peso propio de la estructura es:

- Elementos estructurales ( $\text{kN/m}^2$ ): se considera el peso propio de cada uno de los perfiles seleccionados.
- Cerramientos ( $\text{kN/m}^2$ ):
  - o Con cerramiento en cubierta
    - Peso del cerramiento:  $0.15 \text{ kN/m}^2$
  - o Con cerramientos laterales
    - Peso del cerramiento:  $0.15 \text{ kN/m}^2$

#### 7.3.2. Acciones Variables (Q)

Las acciones variables pueden aparecer o no sobre la estructura. Son las debidas al uso de la misma o a las acciones climáticas.

##### 7.3.2.1. Sobrecarga De Uso

La sobrecarga de uso es todo aquél peso que puede aparecer sobre la nave debido a su uso. Se simula por la aplicación de una carga distribuida uniformemente sobre la estructura. Según el uso de la estructura, el valor se obtiene de la tabla 3.1 del CTE DB SE-AE mostrado en la *Figura 3*.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso					
Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 <sup>(1)</sup>
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(2)</sup>			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación <sup>(3)</sup>	G1 <sup>(7)</sup>	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 <sup>(4)(5)</sup>	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) <sup>(5)</sup>	0,4 <sup>(4)</sup>	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Figura 3. Tabla 3.1. CTE DB SE-AE.

Para la estructura se considera Categoría de uso “G – Cubiertas accesibles únicamente para conservación”. La subcategoría de uso es “G1 – Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado)” que supone una Carga uniforme de 0,4 kN/m<sup>2</sup>.

El CTE indica “Esta sobrecarga de uso no se considerará concomitante con el resto de las acciones variables”.

### 7.3.2.2. Viento

El CTE cubre la acción del viento en edificios cuya esbeltez es menor a 6. La esbeltez es la relación entre la máxima altura sobre rasante y el fondo en la dirección del viento. En este caso, la esbeltez es la siguiente según la dirección del viento que se esté analizando:

$$\text{Esbeltez viento frontal} = h/d = 7,5/36 = 0,208$$

$$\text{Esbeltez viento lateral} = h/d = 7,5/25 = 0,3$$

La acción del viento se considera como una fuerza estática equivalente perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, considerándose así una presión estática, llamada  $q_e$ . El cálculo de la presión estática se realiza de la siguiente manera:

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

Siendo,

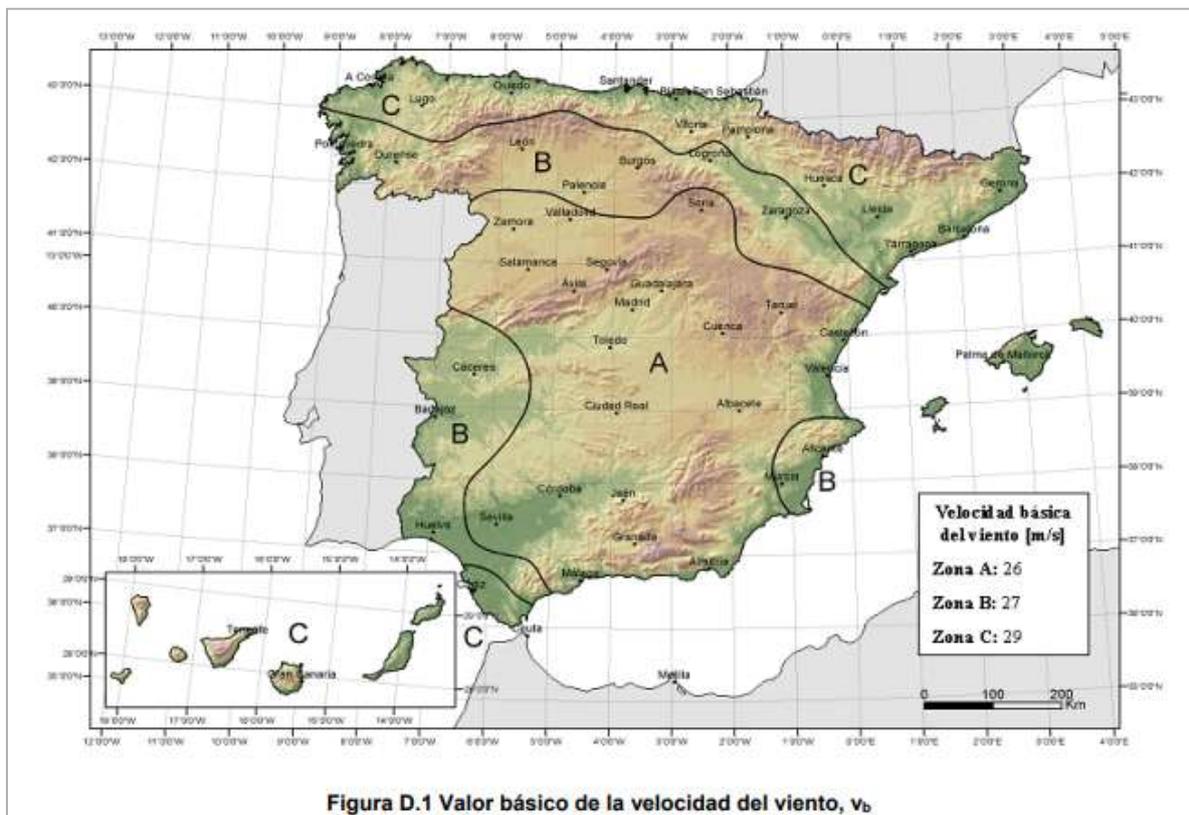
$q_b$ : presión dinámica

$c_e$ : coeficiente de exposición

$c_p$ : coeficiente de presión o coeficiente eólico

- Presión dinámica ( $q_b$ )

Depende del emplazamiento geográfico (ZE) de la obra. Se obtiene mediante el anejo D del CTE DB SE-AE mostrado en la *Figura 4*.



*Figura 4. Figura D.1. CTE DB SE-AE.*

En este caso, al estar la nave en la Zona A el valor de la presión dinámica del viento es  $0,42 \text{ kN/m}^2$ .

- Coeficiente de exposición ( $c_e$ )

Es variable con la altura ( $z$ ) en función del grado de aspereza del entorno ( $g$ ) donde se encuentra la construcción. Se calcula según indica la tabla 3.4. del CTE DB SE-AE mostrado en la *Figura 5*.

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 5. Tabla 3.4. CTE DB SE-AE.

En este caso, se trata de un grado de aspereza del entorno de IV y una altura del punto considerado de 7,5 m. Por lo tanto,  $c_e=1,55$ .

- Coeficiente de presión o coeficiente eólico ( $c_p$ )

El coeficiente eólico depende de la forma y orientación de la superficie respecto al viento. Se determina según los apartados “3.3.4. Coeficiente eólico de edificios de pisos” y “3.3.5. Coeficiente eólico de naves y construcciones diáfanos” del CTE DB SE-AE, en el que se determina el coeficiente como resultante de la acción del viento que aparece en cada punto de la estructura, teniendo en cuenta los coeficientes eólicos que se establecen en el anejo D.3 del CTE DB SE-AE para diversas formas de las estructuras.

Estos cálculos no son necesarios realizarlos ya que el programa CYPE 3D se encarga de realizarlos y dimensionar la nave teniendo en cuenta las acciones sobre la estructura.

### 7.3.2.3. Nieve (N)

La nieve se considera como una carga que actúa sobre un edificio, y depende según el clima, tipo de precipitación, relieve del entorno del lugar y de la forma del edificio o cubierta, del viento y de los cambios térmicos en los paramentos exteriores.

El valor de la carga de nieve ( $q_n$ ) se calcula con la siguiente expresión:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

Siendo,

$\mu$ : coeficiente de forma de la cubeta según 3.5.3 del CTE DE SE-AE.

$s_k$ : valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según 3.5.2 del CTE DE SE-AE.

- Valor característico de la carga de nieve ( $s_k$ )

El CTE DE SE-AE facilita la *Figura 6 - E.2* y la *Figura 7 - E.2* del Anejo E para calcular el valor característico de la carga de nieve.



**Figura 6.** *Figura E.2. CTE DB SE-AE.*

<b>Tabla E.2 Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal (<math>kN/m^2</math>)</b>							
Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

**Figura 7.** *Tabla E.2. CTE DB SE-AE.*

En la estructura estudiada, la zona climática es Zona 5 a una altitud de 30 m.  $s_k=0,2 kN/m^2$ .

- Coeficiente de forma ( $\mu$ )

Para naves con inclinación de cubiertas menor o igual a  $30^\circ$  se tomará  $\mu=1$ . Por lo tanto, en este caso,  $\mu=1$ .

#### **7.3.2.4. Acciones Térmicas**

En el cálculo de la estructura se debe tener en cuenta las deformaciones y cambios geométricos a las que se expone debido a las variaciones de temperatura. Por ello, se requiere el uso de juntas de dilatación para disminuir los efectos de las variaciones de temperaturas.

Según el CTE DB SE-AE, pueden no considerarse las acciones térmicas en edificios habituales con elementos estructurales de hormigón o acero cuando se disponga de juntas de dilatación que impidan que existan elementos continuos de más de 40 m de longitud.

En esta estructura, como la longitud total máxima de la nave son 36 m, no se requieren juntas de dilatación.

#### **7.3.3. Acciones Accidentales (A)**

Las acciones accidentales son aquellas que tienen muy baja probabilidad de ocurrir pero que se deben tener en cuenta. Entre ellas aparecen los sismos, incendios, impactos o explosiones.

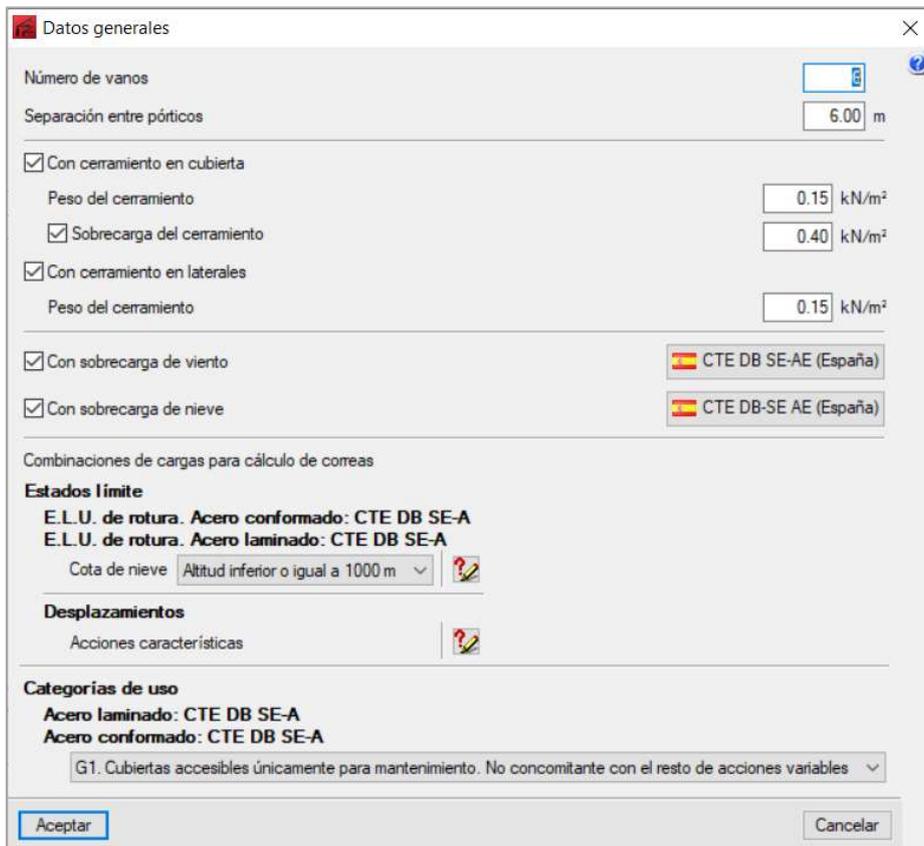
## 7.4. Dimensionado de la nave

En este apartado se detalla cómo se ha realizado el dimensionado de la nave con el programa CYPE Ingenieros.

### 7.4.1. Generador de Pórticos

El primer paso para el diseño de una nave basada en pórticos paralelos es definir el pórtico base, que indicará cómo serán los pórticos interiores de la nave. Para ello, el paquete CYPE Ingenieros proporciona un módulo llamado **Generador de Pórticos**. En él, se introduce el pórtico base y el programa se encarga de calcular las acciones que actuarán sobre los distintos pórticos de la nave. Este pórtico es común para los dos tipos de nave a estudiar, ya que el dimensionamiento de los perfiles se realiza una vez se dispone de la estructura 3D.

La estructura base parte de una geometría de pórtico rígido a dos aguas. Seguidamente, se deben indicar los datos generales de la obra. En la *Figura 8* se detalla la información que el programa solicita. Tal y como se ha indicado en los componentes de la estructura, la nave dispone de cerramientos tanto en cubierta como en laterales. Según el CTE DB SE-AE, al ser la Categoría de uso G1 se debe estimar una sobrecarga de uso de  $0,40 \text{ kN/m}^2$ . Además, hay que indicar que se trata de esta categoría de uso en la parte inferior.



**Datos generales**

Número de vanos: [ ]

Separación entre pórticos: 6.00 m

Con cerramiento en cubierta

Peso del cerramiento: 0.15 kN/m<sup>2</sup>

Sobrecarga del cerramiento: 0.40 kN/m<sup>2</sup>

Con cerramiento en laterales

Peso del cerramiento: 0.15 kN/m<sup>2</sup>

Con sobrecarga de viento: CTE DB SE-AE (España)

Con sobrecarga de nieve: CTE DB-SE AE (España)

Combinaciones de cargas para cálculo de correas

**Estados límite**

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

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

Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m

**Desplazamientos**

Acciones características

**Categorías de uso**

Acero laminado: CTE DB SE-A

Acero conformado: CTE DB SE-A

G1. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento. No concomitante con el resto de acciones variables

Aceptar Cancelar

*Figura 8. CYPE – Datos generales de la obra.*

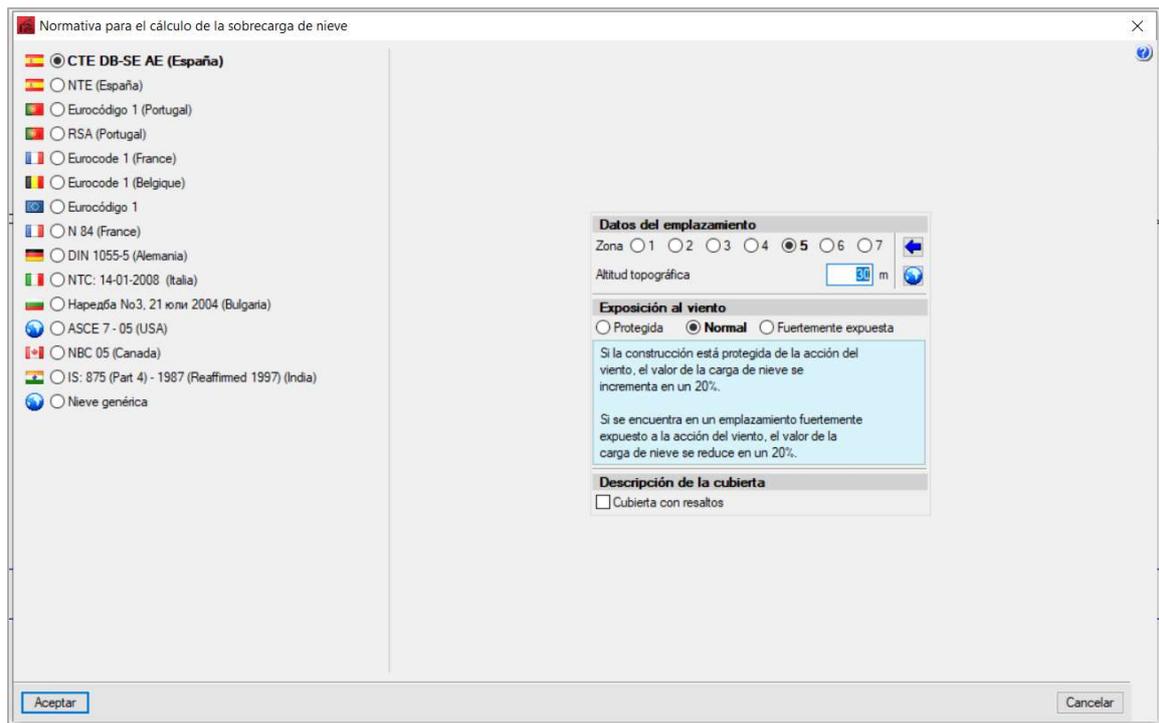
El siguiente paso es indicar los datos pertenecientes a la sobrecarga debida a viento y nieve.

En el caso de la sobrecarga de viento, se indica la normativa mediante la cual se rige para la construcción de la nave, el CTE DB SE-AE. Seguidamente, tal y como se ha indicado en el apartado “7.3.2. Acciones Variables (Q) – Viento”, se especifican la zona eólica y el grado de aspereza. Pr defecto, se indica que el periodo de servicio será de 50 años. Toda esta información se muestra en la *Figura 9*.



*Figura 9.* CYPE – Normativa para el cálculo de la sobrecarga de viento.

En el caso de sobrecarga de nieve se procede del mismo modo, indicando la zona (ver apartado 7.3.2. Acciones Variables (Q) – Nieve), altitud topográfica dónde se encuentra la nave y exposición al viento normal. Ver *Figura 10*.

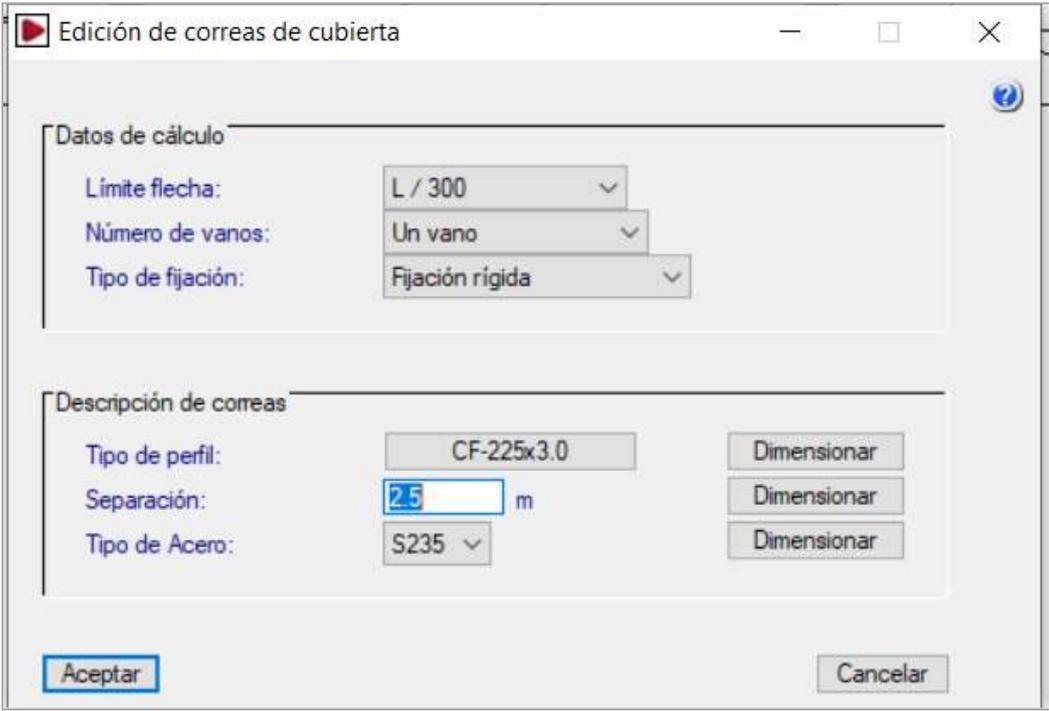


*Figura 10. CYPE – Normativa para el cálculo de la sobrecarga de nieve.*

Finalmente, se deben definir y calcular las correas de cubierta y cerramientos laterales. Para ello, se debe indicar el tipo de perfil y la separación entre correas.

En la *Figura 11* se muestra los datos que el programa solicita para el cálculo de correas de cubierta. El tipo de perfil seleccionado es tipo C, la separación entre correas se introduce de manera orientativa en 1,2 m y tipo de acero, al seleccionar el tipo de perfil, automáticamente indica S235.

Una vez introducidos los datos, se debe seleccionar la última opción de dimensionar para que el programa realice un proceso de comprobación iterativo y proporcione diferentes combinaciones de perfiles y separación entre correas. Solamente debe indicarse la separación mínima y máxima entre correas y el incremento que se desea para el proceso iterativo. El programa proporciona varias opciones indicando el peso en kN/m<sup>2</sup> que supone cada opción. Para la selección de la combinación idónea se debe seleccionar una combinación con la menor carga superficial posible. Finalmente, para las correas de cubierta se selecciona perfil mostrado en la *Figura 12*: correas con tipo de perfil CF-225x3.0 con separación entre ellas de 2,5 m y tipo de acero S235.



**Edición de correas de cubierta**

**Datos de cálculo**

Limite flecha: L / 300

Número de vanos: Un vano

Tipo de fijación: Fijación rígida

**Descripción de correas**

Tipo de perfil: CF-225x3.0

Separación: 2.5 m

Tipo de Acero: S235

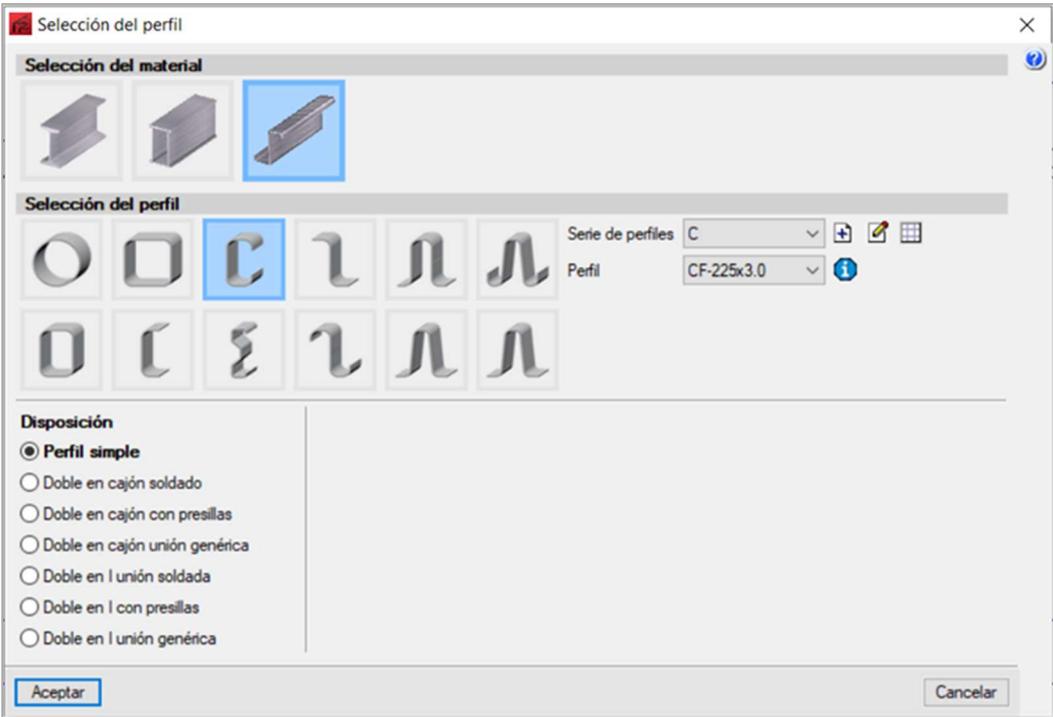
Dimensionar

Dimensionar

Dimensionar

Aceptar Cancelar

*Figura 11. CYPE – Edición de correas de cubierta.*



**Selección del perfil**

**Selección del material**

**Selección del perfil**

Serie de perfiles: C

Perfil: CF-225x3.0

**Disposición**

Perfil simple

Doble en cajón soldado

Doble en cajón con presillas

Doble en cajón unión genérica

Doble en I unión soldada

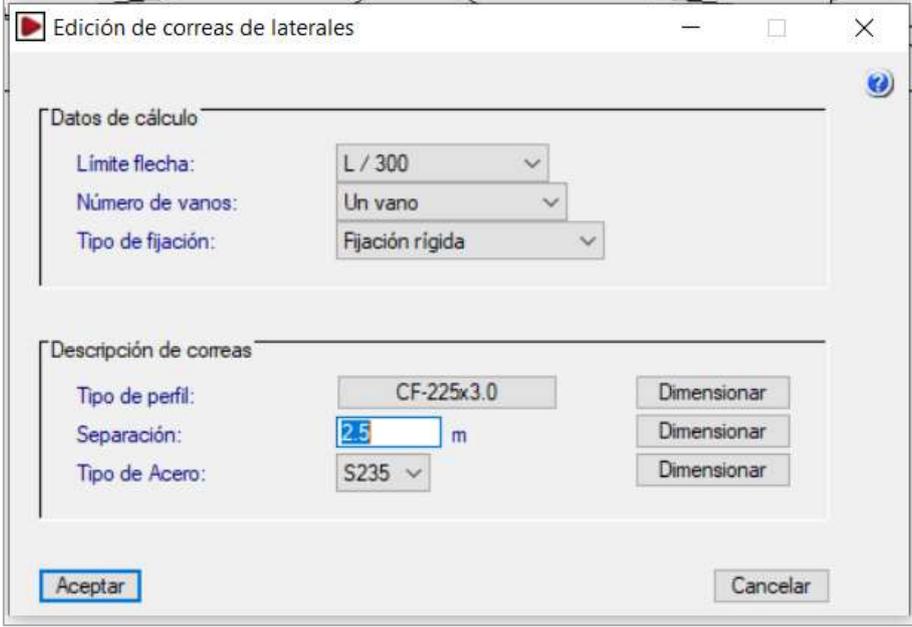
Doble en I con presillas

Doble en I unión genérica

Aceptar Cancelar

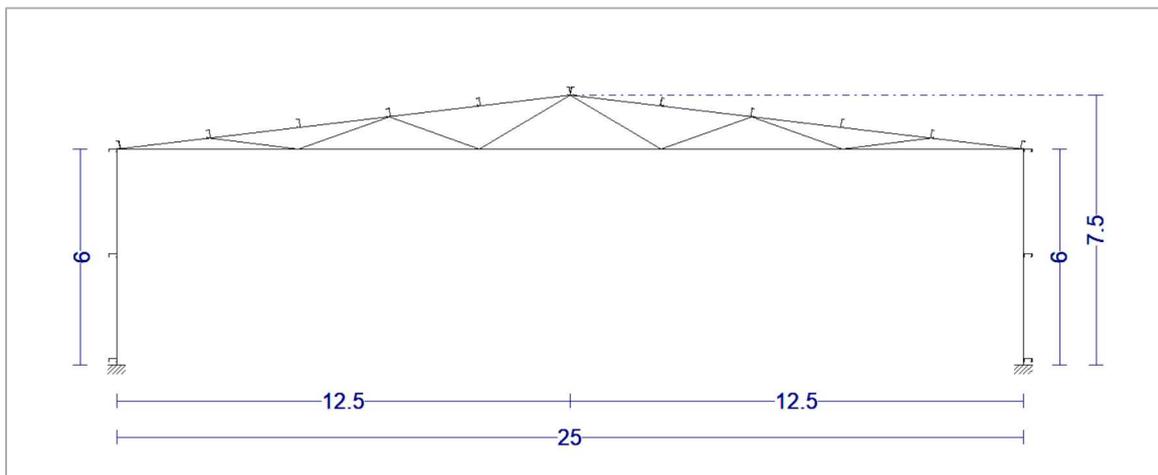
*Figura 12. CYPE – Selección del perfil de las correas.*

Del mismo modo, se procede en el cálculo de las correas laterales, resultando correas con tipo de perfil CF-225x3.0 con separación entre ellas de 2,5 m y tipo de acero S235 (ver *Figura 13*).



*Figura 13. CYPE – Edición de correas laterales.*

Una vez finalizada la introducción de datos, el pórtico base resultante es el mostrado en la *Figura 14*, con una luz de 25 m, pilares de 6 m de altura y altura a cumbre de 7,5 m.



*Figura 14. Pórtico 2D resultante.*

## 7.4.2. Cype3D Nave Empotrada

Una vez se ha generado el pórtico y definido la estructura, se exporta al siguiente paquete de CYPE Ingenieros llamado CYPE3D. En él, se completará la configuración de la nave y la celosía correcta.

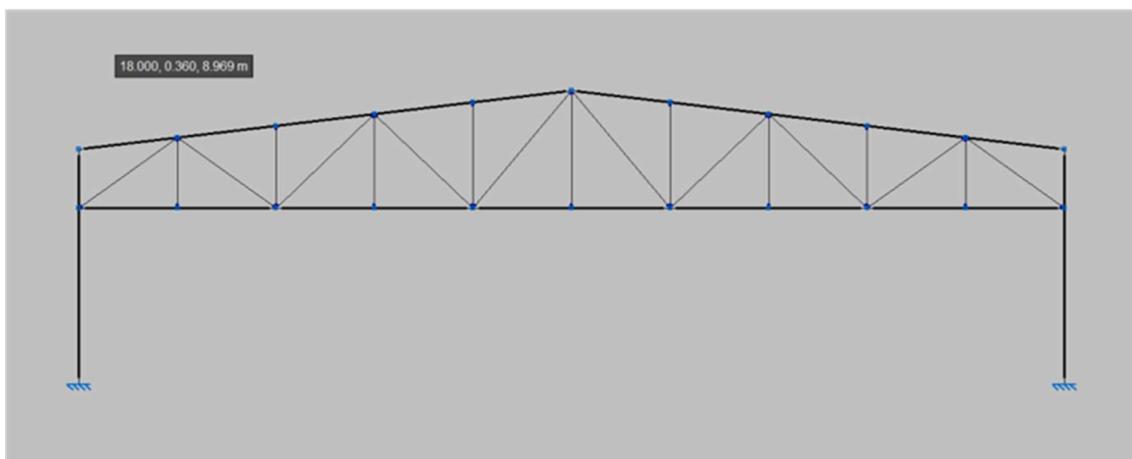
Hay que destacar que el programa solicita la normativa a la cual va a hacer referencia la estructura. Se trata del **Código Técnico de la Edificación y la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08**.

### 7.4.2.1. Pórtico Interior

El primer paso en CYPE3D es definir el pórtico interior. En la estructura, el pórtico interior dispone de una celosía tipo Warren.

La celosía tipo Warren se muestra en la Figura x, donde las diagonal están sujetas de modo alternativo a fuerzas de tracción y de compresión. Además, dispone de montantes verticales, que ayudan a reducir la esbeltez de las barras sometidas a compresión y/o reducen la flexión de las barras del cordón inferior.

En la *Figura 15* se muestra la configuración de la celosía que dispondrán los pórticos interiores de la nave.



*Figura 15. Celosía pórticos interiores.*

Seguidamente, se debe asignar el tipo de perfil a las barras que lo componen, siendo este perfil IPE. Para partir de un perfil IPE cercano al definitivo, se realiza un predimensionado de perfiles gracias a la condición de esbeltez máxima ( $\bar{\lambda}$ ):

$$\bar{\lambda} \leq 2$$

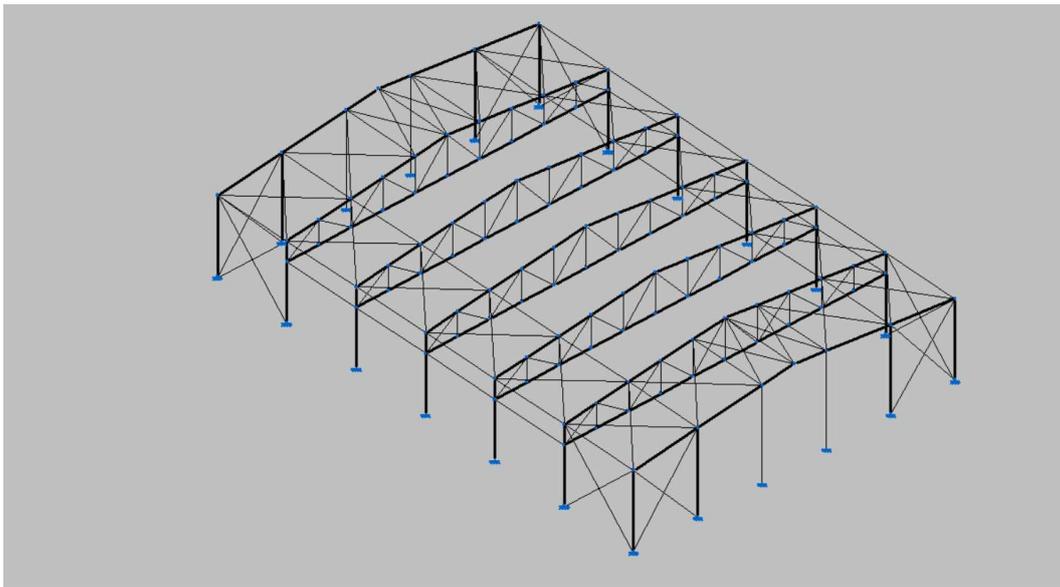
Con el predimensionado (ver *Anexo 1 – Cálculo estructural nave empotrada*) se obtienen los siguientes perfiles IPE que asignar a los pilares y jácena.

- Pilar: IPE 220
- Jácena: IPE 80

Hay que indicar que estos perfiles se obtienen con un valor de pandeo estimado. El programa CYPE3D se encargará de realizar los ajustes pertinentes para definir los perfiles finales necesarios para garantizar la seguridad de la estructura.

#### 7.4.2.2. Disposición de los elementos

Una vez generado el pórtico interior, se crea el resto de estructura. En la *Figura 16* se muestra la geometría de la nave con todos los elementos que la componen.

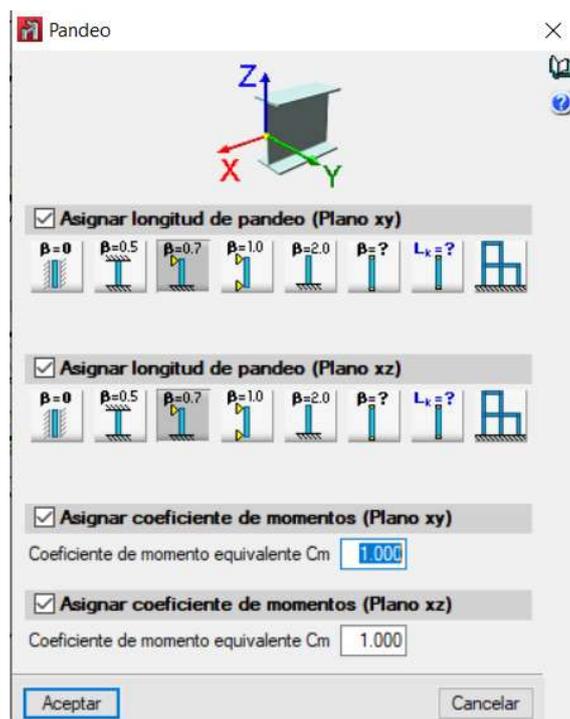


*Figura 16. Disposición de los elementos de la estructura.*

#### 7.4.2.3. Pandeo

Seguidamente, se deben definir los coeficientes de pandeo de las barras que componen el pórtico. Por defecto, el programa asigna un coeficiente de pandeo  $\beta = 1$  en todas las barras y  $\beta = 0$  en las que actúan como tirantes en los arriostramientos.

Tal y como se indica en la *Figura 17*, se debe asignar el coeficiente de pandeo tanto en el plano del pórtico como en el plano perpendicular al pórtico, teniendo en cuenta el plano de pandeo y la orientación de la sección con respecto al plano de pandeo.



*Figura 17. Asignación pandeo a los perfiles.*

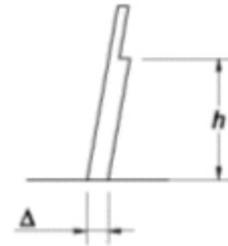
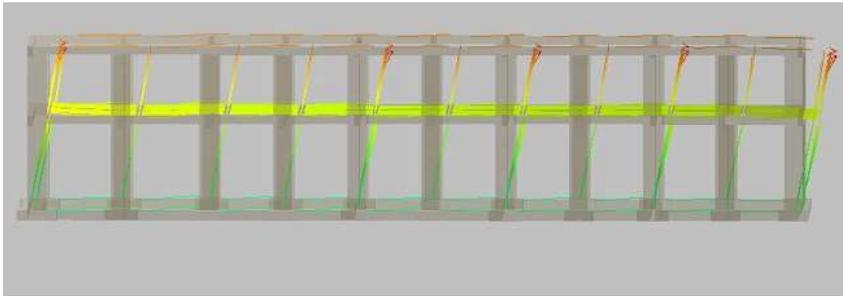
En la *Tabla 1* se indican los coeficientes de pandeo asignados a cada uno de los elementos que componen el pórtico.

*Tabla 1. Coeficientes de pandeo de los elementos.*

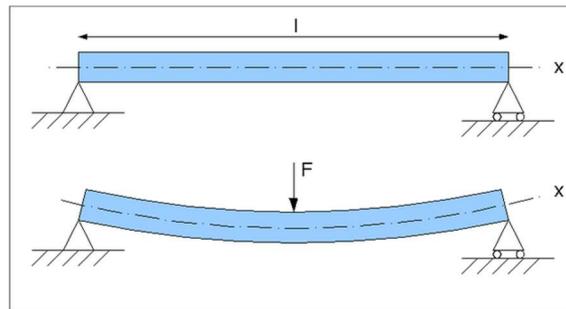
PANDEO	Plano xy	Plano xz
Pilar	0,7	0,7
Jácena	0 (impedido por correas)	1
Jácena inferior	5 m (luz del vano - celosía)	1

En las exigencias básicas de seguridad estructural del CTE DB SE, dentro del Estado Límite de Servicio de Deformación (ELS), se define la aptitud al servicio de la estructura. Existe un comportamiento de la estructura según las deformaciones, vibraciones y/o deterioro. Para ello, si se cumple este comportamiento, no se debe sobrepasar el valor límite admisible de efectos de las acciones.

Cuando se trata de un pilar, la deformación horizontal recibe el nombre de “desplome”. Véase el ejemplo en la *Figura 18*. Por otro lado, cuando se trata de vigas, la deformación vertical se indica como “flecha”. Véase el ejemplo en la *Figura 19*.



**Figura 18.** Desplome de un pilar.



**Figura 19.** Flecha de una jácena.

Para los desplomes o flechas del pórtico interior se consideran el criterio de Integridad y el de Apariencia, criterios constructivos que garantizan que la estructura tiene suficiente rigidez lateral. Cuando se trata de un desplome local, en el caso del pilar, el desplome límite admisible será de  $L/250$  siendo  $L$  la altura del pilar. Para la flecha límite admisible de la jácena se considerará como flecha límite  $L/300$ . Se muestra resumido en la *Tabla 2*.

**Tabla 2.** Límites de flecha PI.

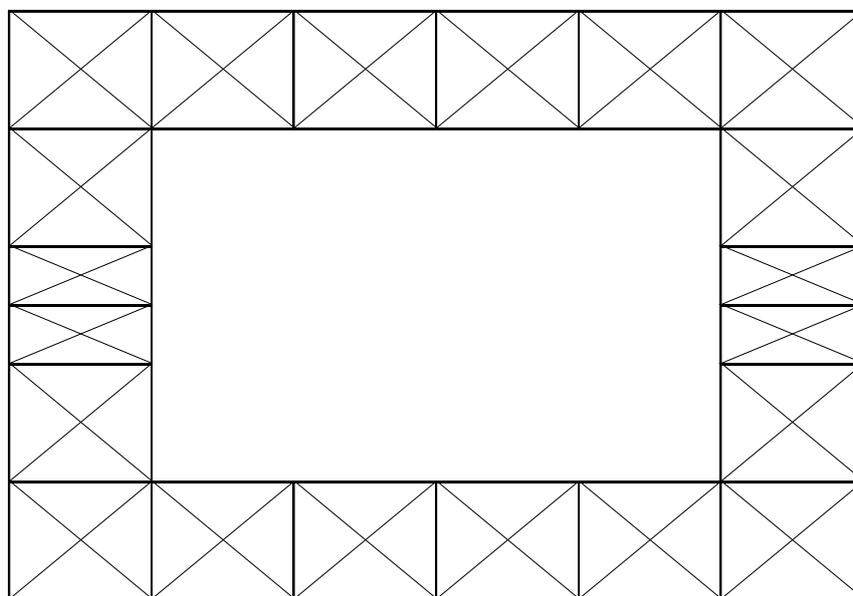
Elemento constructivo	Límite de flecha
Pilares PI	$L/250$
Jácnas PI	$L/300$

Hasta este punto se han definido los pórticos interiores, por lo que el siguiente paso es definir los pórticos de fachada y la estructura secundaria. Como estructura secundaria se entiende la viga perimetral, las cruces de San Andrés y la viga contraviento.

El primer paso es crear la viga perimetral en la estructura, ya que por defecto no existen. Se selecciona perfil cuadrado hueco para este tipo de viga. Además, la viga perimetral trabaja a tracción, y, para que la barra no reciba otro tipo de esfuerzo desde los pórticos, se articulan sus extremos en contacto con cada uno de los pórticos.

Seguidamente, se crean las Cruces de San Andrés. El tipo de perfil seleccionado es perfil en L que actúa como tirante. Al seleccionar que trabaja como tirante, este elemento solo trabajará a tracción.

Finalmente, se introduce la viga contraviento. Para los montantes de la VCV se selecciona perfil hueco cuadrado, que trabajará a compresión, y para las diagonales de VCV y cubierta se selecciona perfil tipo L, que trabajará como tirante a tracción. Se selecciona viga contraviento con geometría tipo Pratt. En la *Figura 20* se observa la VCV con geometría Pratt de la nave a estudiar.



*Figura 20.* Viga contraviento tipo Pratt de la estructura completa.

En último lugar, queda definir el pórtico de fachada. Se deben añadir los pilares centrales, que se orientarán 90° girado respecto a los pilares de los extremos, puesto que así absorberán las cargas de manera más eficiente. También se añaden arrostramientos frontales, las cruces de San Andrés, que trabajarán como tirantes soportando tracción. El programa CYPE Ingenieros no permite crear tirantes en recuadros no rectangulares, por ello se definen barras articuladas con el pandeo impedido y sin cargas superficiales para que así tengan las características de los tirantes. Además, se deben elevar los anclajes inferiores de las cruces de San Andrés para que no coincidan con la base del pilar y pueda causar problemas posteriores en la definición de las placas de anclaje.

Para los desplomes o flechas del pórtico de fachada se consideran el criterio de Integridad y el de Apariencia, criterios constructivos que garantizan que la estructura tiene suficiente rigidez lateral. Cuando se trata de un desplome local, en el caso del pilar, el desplome límite admisible será de  $L/300$  siendo  $L$  la altura del pilar. Para la flecha límite admisible de la jácena se considerará como flecha límite  $L/300$ . Se muestra el resumen en la *Tabla 3*.

*Tabla 3.* Límite de flecha PF.

Elemento constructivo	Límite de flecha
Pilares PF	$L/350$
Jácnas PF	$L/300$

En la *Tabla 4* se resumen los coeficientes de pandeo asignados a cada uno de los elementos que componen la estructura.

**Tabla 4.** Coeficientes de pandeo de los elementos.

Elemento constructivo	Plano xy	Plano xz
Pilar	$\beta = 0,7$	$\beta = 0,7$
Jácena	$\beta = 0$ (impedido por correas)	$\beta = 1$
Jácena inferior	$\beta = 5 \text{ m}$ (luz del vano - celosía)	$\beta = 1$
Viga perimetral	$\beta = 0$	$\beta = 0$
Viga perimetral inferior	$\beta = 1$	$\beta = 1$
Viga perimetral cubierta	$\beta = 1$	$\beta = 1$
Montante VCV	$\beta = 1$	$\beta = 1$
Diagonales y montantes celosía	$\beta = 1$	$\beta = 1$
Diagonales fachada CSA	$\beta = 0$ (pandeo eliminado – tirante)	$\beta = 0$ (pandeo eliminado – tirante)

Finalmente, se indican resumidos los elementos que constan de los extremos articulados:

- Diagonales laterales CSA.
- Diagonales VCV y cubierta.
- Diagonales y montantes celosía.
- Viga perimetral.

#### 7.4.2.4. Tipología de los perfiles

Finalmente, una vez se ha definido toda la estructura tal y como se ha mencionado, se procede al cálculo de la estructura. Una vez el programa realiza todos los cálculos, se analiza cuáles de los perfiles no cumplen con alguno de los estados límite. En este caso, se deben recalcular los siguientes perfiles:

- Diagonales VCV: R10
  - o Se requiere comprobación de esbeltez. El perfil indicado es demasiado pequeño. El perfil necesario es L50x50x4
- Diagonales CSA: R10
  - o Se requiere comprobación de esbeltez. El perfil indicado es demasiado pequeño. El perfil necesario es L60x60x5
- Pilares PI: IPE 240
  - o Calcular desplomes. El perfil necesario es IPE 220
- Jácena PI: #90x6
  - o Calcular flechas. El perfil #90x6 cumple.

En el *Anexo 1 – Cálculo estructural nave empotrada* se encuentran los cálculos realizados para comprobar estos perfiles.

A continuación, en la *Tabla 5*, se muestran los tipos de perfiles definitivos para cada uno de los elementos de la estructura. En el *Anexo 1 – Cálculo estructural nave empotrada* se encuentra la comprobación ELU con el programa CYPE de los principales elementos constructivos que son distintos a la nave empotrada.

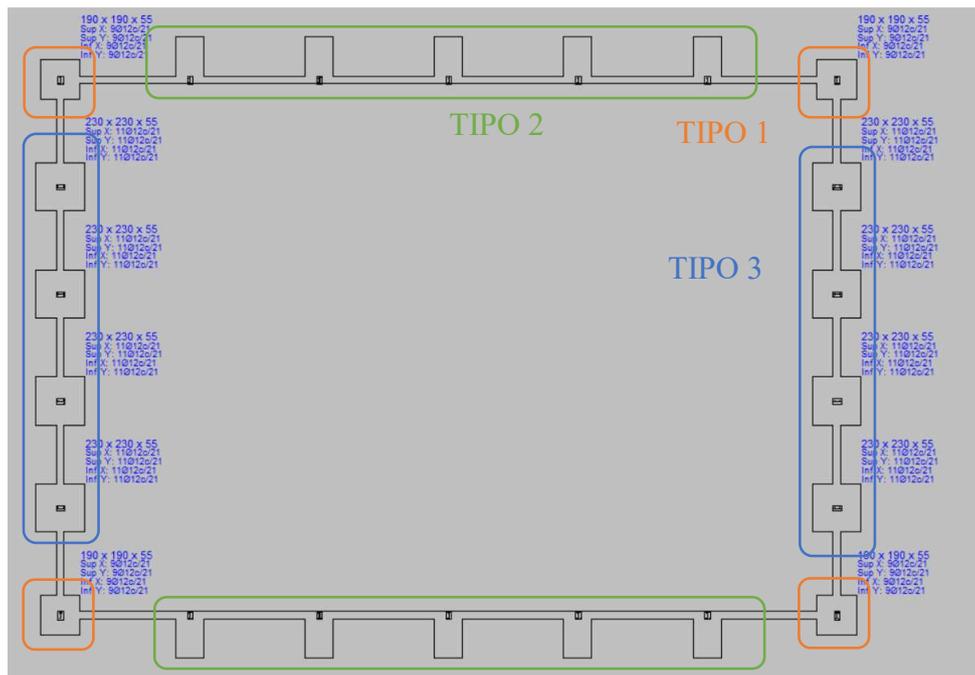
*Tabla 5. Perfiles definitivos de los elementos.*

PERFILES	Tipo de perfil	Tipo de acero	Tipo de elemento estructural
Pilares PF	IPE 270	S275	Barra
Pilares PI	IPE 220	S275	Barra
Jácena PF	IPE 100	S275	Barra
Jácena superior e inferior PI	#90x5	S275	Barra
Diagonales y montantes celosía	#80x4	S275	Barra
Viga perimetral, inferior y cubierta	#90x3	S275	Barra
Montantes VCV	#90x3	S275	Barra
Diagonales VCV y cubierta	L 50x50x4	S275	Tirante
Diagonales laterales CSA	L 60x60x5	S275	Tirante

#### 7.4.2.5. Placas de anclaje

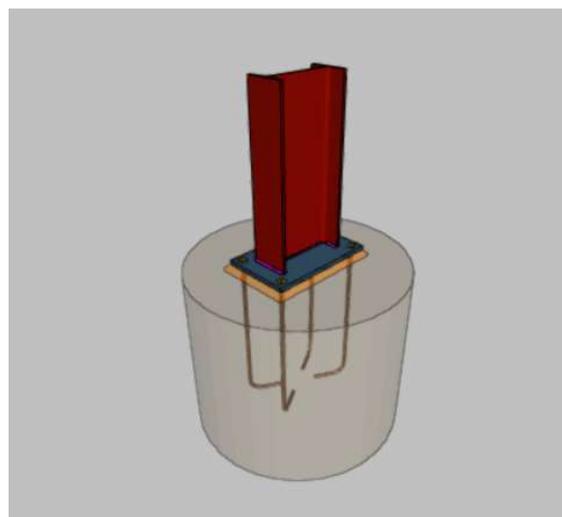
Para el diseño de las placas de anclaje de la estructura se definen tres grupos, para poder diseñar placas de tres tipos, cosa que facilitará la construcción de estas y podrá optimizar las placas según la carga que deban soportar de cada uno de los tipos de pilares que existen en la estructura.

La agrupación se realiza según el tipo de pilar, mostrados los grupos en la *Figura 21*.

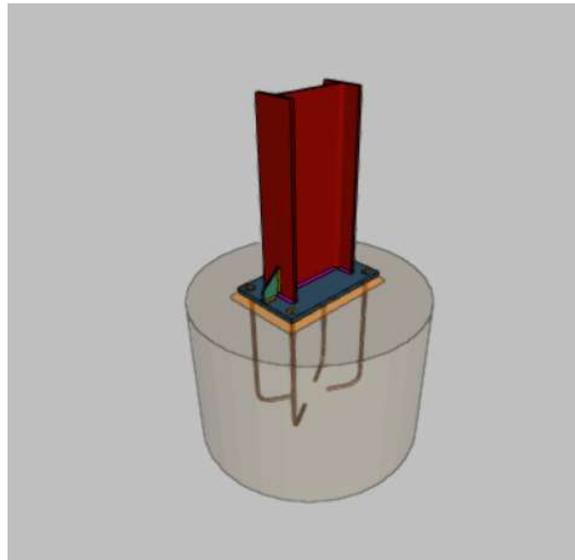


**Figura 21.** Agrupación de las placas de anclaje.

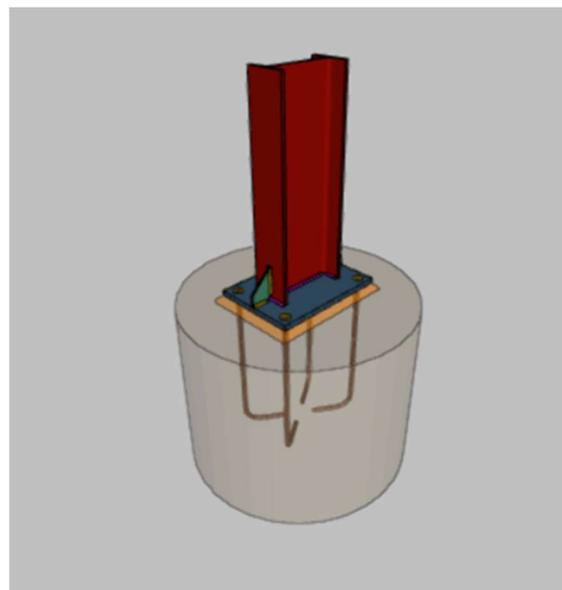
A continuación, en las *Figuras 22, 23 y 24*, se muestran las placas de anclaje que se diseñan para cada uno de los grupos. En el diseño de los pernos seleccionado es el de patilla a 90°, que permite ahorro de material, puesto que los pernos rectos exigen mayor prolongación de este y mayor canto de zapata. Esto significa que el hormigón necesario para la cimentación será menor. En la *Tabla 6* se muestra las características de cada tipo de unión.



**Figura 22.** Unión tipo 1 nave empotrada.



*Figura 23. Unión tipo 2 nave empotrada.*



*Figura 24. Unión tipo 3 nave empotrada.*

*Tabla 6. Características de placas de anclaje en nave empotrada.*

TIPO DE UNIÓN	PILAR	DIMENSIONES (mm)	RIGIDIZADORES	PERNOS
Tipo 1	IPE 270	250x400x15	No	4Ø16 mm L=45 cm
Tipo 2	IPE 270	250x400x15	Sí	4Ø16 mm L=35 cm
Tipo 3	IPE 220	250x350x15	Sí	4Ø16 mm L=35 cm

### 7.4.2.6. Cimentación

Una vez seleccionados los tipos de placas de anclaje que se van a utilizar se dimensiona la cimentación. La cimentación de la estructura está compuesta por las zapatas y vigas de atado. En este caso, como se han dimensionado tres tipos de placas de anclaje, se necesitarán también tres tipos de zapatas, una por cada tipo de placa de anclaje.

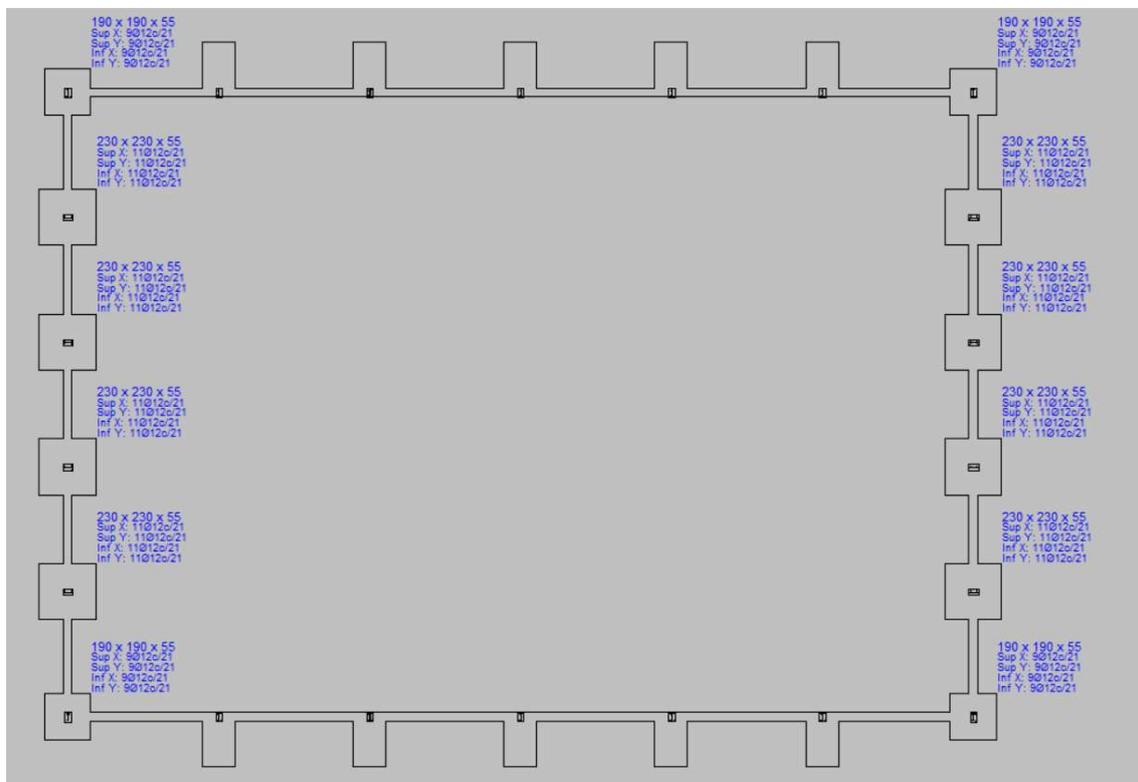
Como características de diseño, toda la cimentación estará apoyada sobre una base de hormigón de limpieza de 10cm, que permitirá que el hormigón de la cimentación esté apoyado sobre una superficie plana y horizontal.

Según el EHE-08 las zapatas óptimas para la cimentación en edificios industriales son las zapatas flexibles.

El tipo de zapata y orientación seleccionado se muestra en la *Tabla 7* y en la *Figura 25*, donde también se observa la viga de atado que completa la cimentación de la estructura.

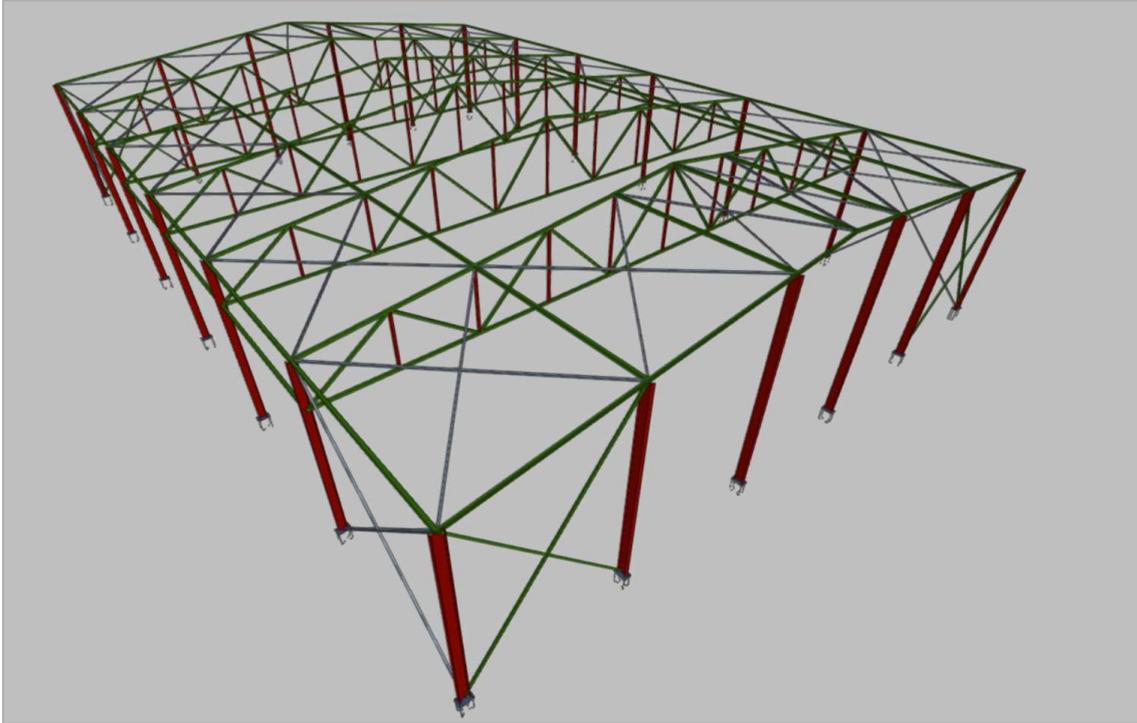
*Tabla 7. Características de las zapatas de la nave empotrada.*

Posición de la zapata	Tipo y orientación de zapata	Dimensiones (cm)
Pilares de los pórticos interiores	Zapata rectangular excéntrica	135x220x95
Pilares hastiales	Zapata centrada	230x230x55
Pilares de esquina	Zapata centrada	190x190x55



*Figura 25. Distribución de las zapatas y vigas de atado nave empotrada.*

Con todo esto, ya queda completada la estructura de la nave empotrada. En la *Figura 26* se puede observar la estructura en 3D junto con la disposición de los diferentes elementos estructurales.



*Figura 26. Estructura 3D nave empotrada.*

### 7.4.3. Cype3D Nave Articulada

Para la configuración de la nave articulada se parte directamente de la nave empotrada, puesto que las dimensiones y cargas sobre la estructura serán las mismas y lo único que cambiará será el pandeo y uniones y, como consecuencia, los tipos de perfiles y cimentación. Las uniones pasarán de ser tipo empotrado-articulado a articulado-articulado.

La normativa seguirá siendo la misma para este tipo de nave, siendo esta el **Código Técnico de la Edificación y la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08**.

#### 7.4.3.1. Pandeo

El pandeo de la nave articulada variará, por lo que se deben modificar los valores de pandeo de los elementos. En la *Tabla 8* se muestran los coeficientes de pandeo de cada uno de los elementos de la estructura.

*Tabla 8. Coeficientes de pandeo de los elementos.*

Elemento constructivo	Plano xy	Plano xz
Pilar	$\beta = 1$	$\beta = 1$
Jácena	$\beta = 0$ (impedido por correas)	$\beta = 1$
Jácena inferior	$\beta = 5 \text{ m}$ (luz del vano – celosía)	$\beta = 1$
Viga perimetral	$\beta = 0$	$\beta = 0$
Viga perimetral inferior	$\beta = 1$	$\beta = 1$
Viga perimetral cubierta	$\beta = 1$	$\beta = 1$
Montante VCV	$\beta = 1$	$\beta = 1$
Diagonales y montantes celosía	$\beta = 1$	$\beta = 1$
Diagonales fachada CSA	$\beta = 0$ (pandeo eliminado – tirante)	$\beta = 0$ (pandeo eliminado – tirante)

#### 7.4.3.2. Tipología de los perfiles

A continuación, en la *Tabla 9*, se muestran los tipos de perfiles definitivos para cada uno de los elementos de la estructura. En el *Anexo 2 – Cálculo estructural nave articulada* se encuentra la comprobación ELU con el programa CYPE de los principales elementos constructivos.

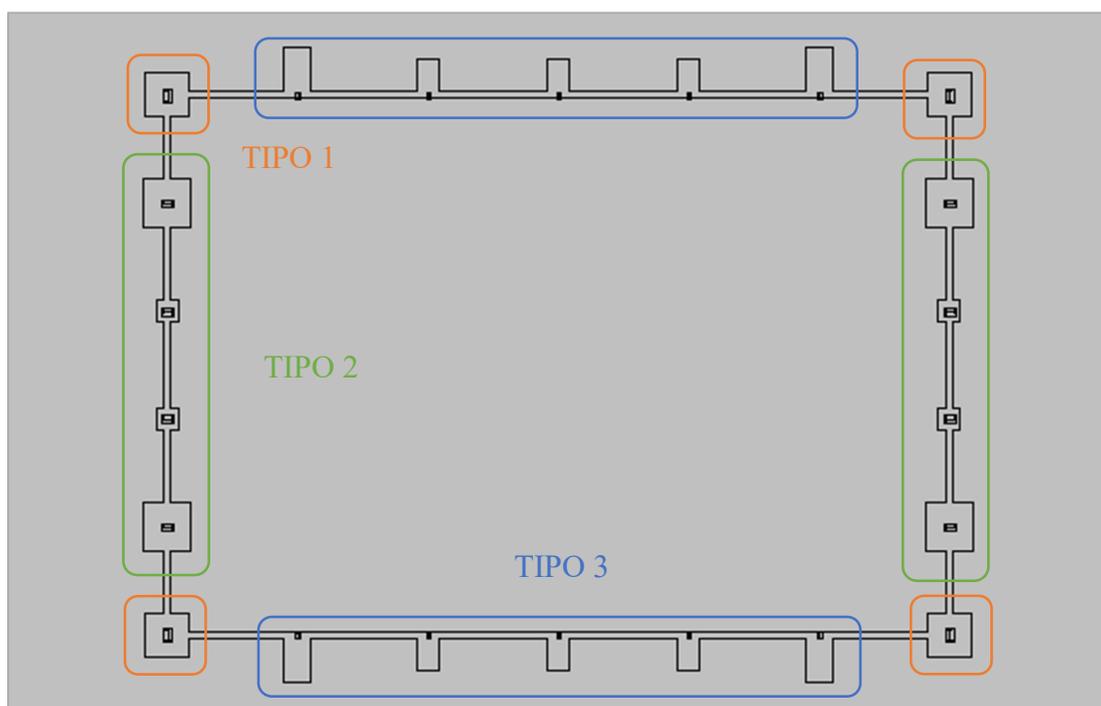
**Tabla 9.** Perfiles definitivos de los elementos.

PERFILES	Tipo de perfil	Tipo de acero	Tipo de elemento estructural
Pilares PF	IPE 450	S275	Barra
Pilares PI	IPE 240	S275	Barra
Jácena PF	IPE 100	S275	Barra
Jácena superior e inferior PI	#90x5	S275	Barra
Diagonales y montantes celosía	#80x4	S275	Barra
Viga perimetral, inferior y cubierta	#90x3	S275	Barra
Montantes VCV	#90x3	S275	Barra
Diagonales VCV y cubierta	L 50x50x4	S275	Tirante
Diagonales laterales CSA	L 60x60x5	S275	Tirante

#### 7.4.3.3. Placas de anclaje

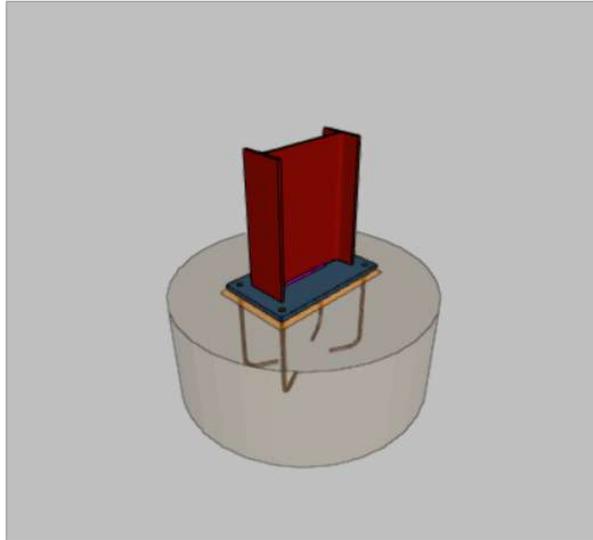
Al igual que en la nave con base empotrada, para el diseño de las placas de anclaje de la estructura se definen tres grupos, para poder diseñar placas de tres tipos, cosa que facilitará la construcción de estas y podrá optimizar las placas según la carga que deban soportar de cada uno de los tipos de pilares que existen en la estructura.

La agrupación se realiza según el tipo de pilar, mostrados los grupos en la *Figura 27*.

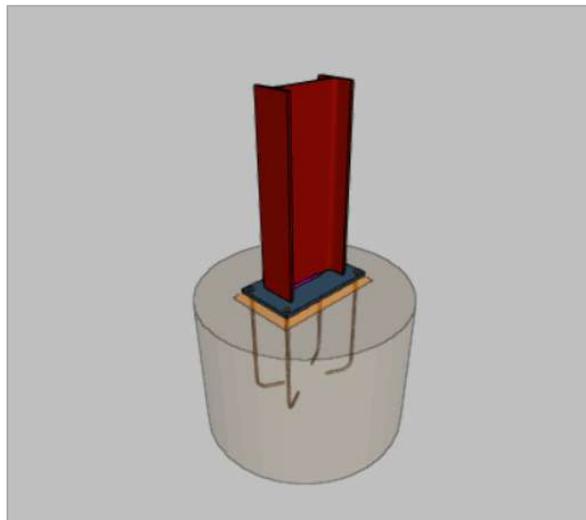


**Figura 27.** Agrupación de las placas de anclaje.

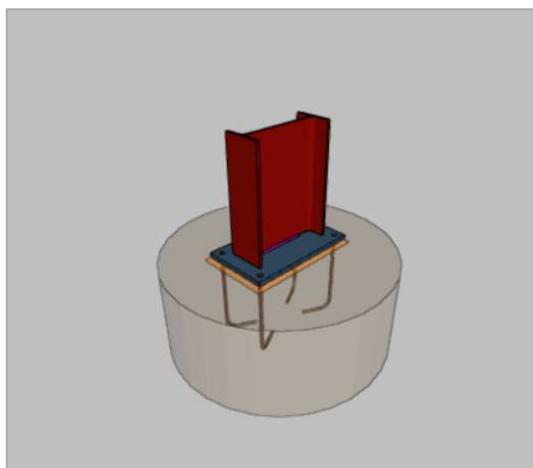
A continuación, en las *Figuras 28, 29 y 30*, se muestran las placas de anclaje que se diseñan para cada uno de los grupos. En el diseño de los pernos seleccionado es el de patilla a 90°, que permite ahorro de material, puesto que los pernos rectos exigen mayor prolongación de este y mayor canto de zapata. Esto significa que el hormigón necesario para la cimentación será menor. En la *Tabla 10* se muestra las características de cada tipo de unión.



*Figura 28. Unión tipo 1 nave articulada.*



*Figura 29. Unión tipo 2 nave articulada.*



**Figura 30.** Unión tipo 3 nave articulada.

**Tabla 10.** Características de placas de anclaje en nave articulada.

TIPO DE UNIÓN	PILAR	DIMENSIONES (mm)	RIGIDIZADORES	PERNOS
Tipo 1	IPE 450	350x600x22	No	4Ø20 mm L=30 cm
Tipo 2	IPE 240	200x350x12	No	4Ø12 mm L=30 cm
Tipo 3	IPE 450	350x600x22	No	4Ø20 mm L=30 cm

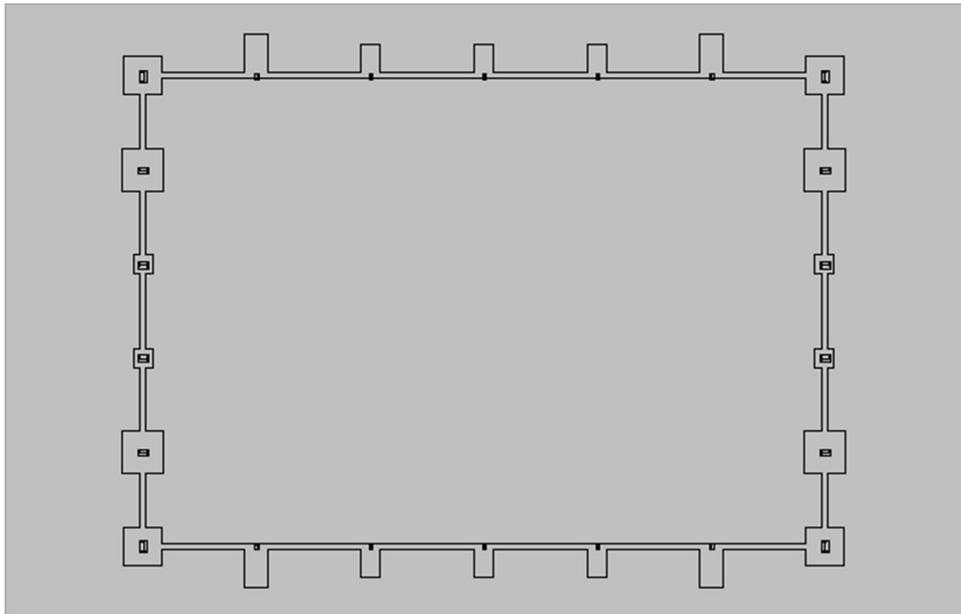
#### 7.4.3.4. Cimentación

Para calcular las dimensiones de las zapatas y vigas de atado se procede igual que en la estructura empotrada. En este caso existen varios tipos de zapatas por cada tipo de placa de anclaje.

Los tipos de zapatas y orientación de las zapatas se muestra en la *Tabla 11* y en la *Figura 31*, donde también se observa la viga de atado que completa la cimentación de la estructura articulada.

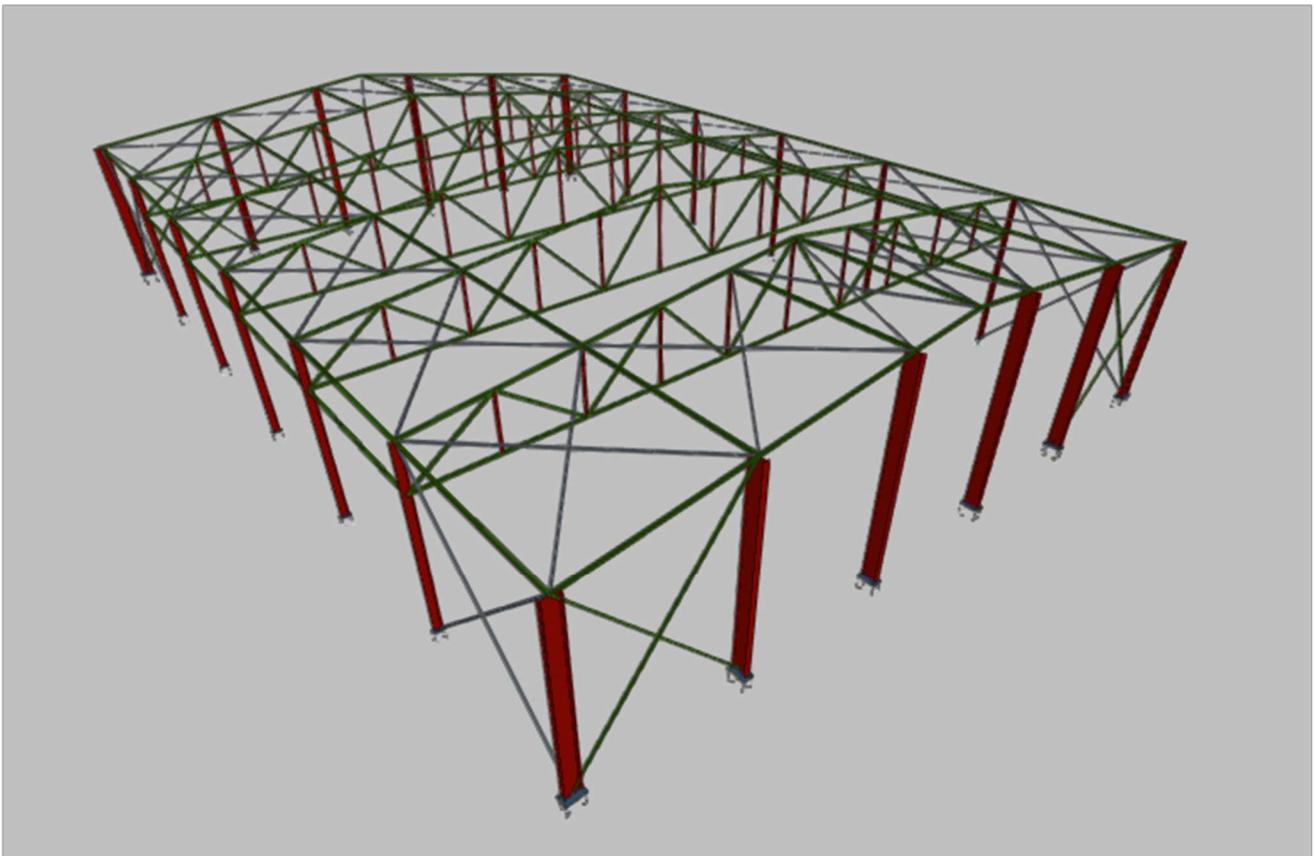
**Tabla 11.** Características de las zapatas de la nave articulada.

Posición de la zapata	Tipo y orientación de zapata	Dimensiones (cm)
Pilares de los pórticos interiores extremos	Zapata rectangular excéntrica	130x240x105
Pilares de los pórticos interiores centrales	Zapata rectangular excéntrica	110x190x80
Pilares hastiales extremos	Zapata centrada	230x230x50
Pilares hastiales centrales	Zapata centrada	110x110x40
Pilares de esquina	Zapata centrada	210x210x45



*Figura 31. Distribución de las zapatas y vigas de atado nave empotrada.*

Con todo esto, ya queda completada la estructura de la nave articulada. En la *Figura 32* se puede observar la estructura en 3D junto con la disposición de los diferentes elementos estructurales.



*Figura 32. Estructura 3D nave articulada.*

## 8. Resumen de presupuesto y mediciones

### 8.1. Resumen mediciones

A continuación, en la *Tabla 12* se indica el resumen de las mediciones tanto de la nave con base articulada como la nave base empotrada, desglosadas según el tipo de material utilizado.

*Tabla 12. Mediciones nave articulada y nave empotrada.*

TIPO MATERIAL	Uds.	Medición Empotrada	Medición Articulada
Acero S275	kg	19.952,15	23.760,03
Acero B500S	kg	2.701,26	2.183,86
Panel sándwich	m <sup>2</sup>	1.383,18	1.383,18
Hormigón HA-25	m <sup>3</sup>	72,47	56,33
Hormigón limpieza	m <sup>3</sup>	11,91	10,05

### 8.2. Presupuesto nave empotrada

<b>PEM (Presupuesto de Ejecución del Material) = Σ Capítulos</b>	<b>154.531,67 €</b>
Gastos Generales (18% del PEM)	27.815,70 €
Beneficio Industrial (6% del PEM)	9.271,90 €
<b>PEC (Presupuesto de Ejecución por Contrata)</b>	<b>191.619,27 €</b>
Honorarios Proyecto (3% del PEC)	5.748,58 €
Honorarios Proyectista ( 4% del PEC)	7.664,77 €
<b>TOTAL</b>	<b>205.032,62 €</b>
IVA (21%)	43.056,85 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>248.089,47 €</b>

El presupuesto total de la nave empotrada asciende a DOSCIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL OCHENTA Y NUEVE EUROS CON CUARENTA Y SIETE CÉNTIMOS.

### 8.3. Presupuesto nave articulada

<b>PEM (Presupuesto de Ejecución del Material) = <math>\Sigma</math> Capítulos</b>	<b>160.007,91 €</b>
Gastos Generales (18% del PEM)	28.801,42 €
Beneficio Industrial (6% del PEM)	9.600,47 €
<b>PEC (Presupuesto de Ejecución por Contrata)</b>	<b>198.409,81 €</b>
Honorarios Proyecto (3% del PEC)	5.952,29 €
Honorarios Proyectista ( 4% del PEC)	7.936,39 €
<b>TOTAL</b>	<b>212.298,50 €</b>
IVA (21%)	44.582,68 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>256.881,18 €</b>

El presupuesto total de la nave articulada asciende a DOSCIENTOS CINCUENTA Y SEIS MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y UN EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS.

## 9. Impacto medioambiental

En la actualidad, uno de los principales problemas a combatir por el sector de la industria son las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. El CO<sub>2</sub> es uno de los principales gases de efecto invernadero que emite el ser humano a través de las actividades que desarrolla.

En el caso de la nave, las principales emisiones de CO<sub>2</sub> se obtienen en la fabricación de los materiales. Se necesitan altas temperaturas de manera continuada para crear el acero y el cemento, principal componente del hormigón. Es por ello, que es muy importante conocer las emisiones que se producen por la construcción es este tipo de naves y el impacto sobre el medioambiente que causan.

En la *Tabla 13* se muestra resumido el impacto medioambiental según las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al acero y al hormigón.

*Tabla 13. Impacto medioambiental nave articulada y nave empotrada.*

	<b>NAVE BASE EMPOTRADA</b>	<b>NAVE BASE ARTICULADA</b>
EMISIONES TOTALES kgCO <sub>2</sub> POR <b>ACERO</b>	41.361,74	44.036,78
EMISIONES TOTALES kgCO <sub>2</sub> POR <b>HORMIGÓN</b>	25.381,50	19.967,10
<b>EMISIONES TOTALES kgCO<sub>2</sub></b>	<b>66.743,24</b>	<b>64.003,88</b>
<b>EMISIONES TOTALES tonCO<sub>2</sub></b>	<b>66,74</b>	<b>64,00</b>

En el apartado “Impacto Medioambiental” se indica de manera más detallada cómo se obtienen estas emisiones de CO<sub>2</sub> para los materiales que constituyen la estructura.

## **10. Viabilidad del proyecto**

El proyecto es técnicamente viable, puesto que se ha realizado el diseño según los productos que se encuentran actualmente en el mercado.

Desde el punto de vista económico es viable, puesto que se han realizado los ajustes pertinentes para garantizar el mínimo coste sin perjudicar la seguridad y calidad de la estructura.

Se ha seguido toda la normativa vigente para la realización del proyecto, por lo que el proyecto es legalmente viable.

Así pues, el proyecto es viable desde el punto de vista técnico, económico y legal.

## 11. Conclusiones

Tras el análisis de las dos estructuras diseñadas se puede realizar una comparativa tanto económica como medioambiental para saber si la estructura con base articulada podría ser viable en España.

Así pues, desde el punto de vista económico la nave articulada supone un coste mayor, siendo la diferencia con la empotrada de 8.791,71€.

La nave articulada utiliza unos 3.800 kg más de acero S275, pero utiliza 16 m<sup>3</sup> menos de hormigón y 500 kg menos de acero B500 S que la nave empotrada. La principal diferencia en cuanto a cantidad de material a utilizar es esa, puesto que los cerramientos son los mismos para las mismas naves y la diferencia de hormigón de limpieza utilizado es insignificante.

Teniendo en cuenta el coste del material, el más significativo es el acero S275, ya que en la nave empotrada supone un 19,9% del coste total de la estructura y en la nave articulada supone un 22,6% del coste total de la estructura. Así pues, la nave con base articulada tiene un coste mayor al tener más cantidad de acero en proporción al resto de materiales utilizados.

Destacar también que, la diferencia de coste de material es mínima, pero se incrementa al aplicar los Gastos Generales, el Beneficio Industrial, los Honorarios y el IVA.

Desde el punto de vista medioambiental la nave con base articulada emite menos cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, emitiendo 2,74 toneladas menos de CO<sub>2</sub> que la nave con base empotrada.

En la actualidad, existe una gran batalla para combatir el cambio climático, y el CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera es uno de los principales gases de efecto invernadero que lo provocan. Si bien es cierto que 2,74 toneladas de CO<sub>2</sub> comparado con los miles de toneladas emitidos por la industria y otros sectores es muy poco, no deja de ser importante eliminar o intentar reducir al máximo las emisiones.

Actualmente, en España hay alrededor de 5.000 polígonos industriales, algunos de ellos con gran cantidad de naves industriales pero otros con poca o incluso nada de producción. En un caso hipotético, en el que se construyen cuatro naves industriales anualmente por cada polígono, se estarían construyendo 20.000 naves. Si todas ellas fueran del mismo tamaño que la nave estudiada, que es de tamaño pequeño comparado con las grandes naves que construyen empresas con gran capacidad de trabajo, se estarían emitiendo 54.800 toneladas de CO<sub>2</sub> más si fuera la nave empotrada que si fuera la nave articulada.

Por tanto, aunque la diferencia de emisiones en una nave como la estudiada no es un número muy elevado, si que aporta interés desde el punto de vista industrial, ya que a gran escala de producción se estaría reduciendo en una gran cantidad las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las emisiones de este gas van en aumento a nivel global y hay que llegar al objetivo de mantener el incremento de temperatura del planeta menor a 1,5°C respecto a los niveles preindustriales. Anualmente se va reduciendo la capacidad de eliminación de CO<sub>2</sub>, por lo que cualquier acción que no requiera de nuevas tecnologías para eliminar estos gases debe llevarse a cabo para no poner en riesgo el futuro del planeta.



# **ANEXOS**



# Índice

1. Anexo 1 – Cálculo estructural nave empotrada.....	55
1.1. Apartado 7.4.2.1. Pórtico interior.....	55
1.1.1. Pilar.....	55
1.1.2. Jácena.....	56
1.2. Apartado 7.4.2.4. Tipología de los perfiles.....	58
1.2.1. Diagonales VCV.....	58
1.2.2. Diagonales CSA laterales.....	61
1.2.3. Diagonales CSA frontales.....	62
1.2.4. Pilares pórtico interior.....	63
1.2.5. Jácena pórtico interior.....	64
1.3. Apartado 7.4.2.4. Tipología de los perfiles.....	66
1.3.1. IPE 100 – Jácena PF.....	66
1.3.2. IPE 220 – Pilares PI.....	80
1.3.3. #90x5 – Jácena superior e inferior PI.....	92
1.3.4. #80x4 – Diagonales y montantes celosía.....	105
2. Anexo 2 – Cálculo estructural nave articulada.....	114
2.1. Apartado 7.4.3.2. Tipología de los perfiles.....	114
2.1.1. IPE 240 – Pilares PI.....	114
3. Anexo 3 – Cálculo mediciones.....	127

## 1. Anexo 1 – Cálculo estructural nave empotrada

### 1.1. Apartado 7.4.2.1. Pórtico interior

Predimensionado para pilar y jácena del pórtico interior base. Se utilizará el criterio de esbeltez máxima.

Se debe cumplir la condición de esbeltez máxima:

$$\bar{\lambda} \leq 2$$

#### 1.1.1. Pilar

- PILAR (Plano del pórtico)

$\beta \approx 0,7$  (intraslacional)

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{lim}}$$

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{275}} = 86,815$$

E (Acero B500S) = 210.000 MPa

$f_y$  (Acero B500S) = 275 MPa

$$\lambda_y = \frac{L_{Ky}}{i_y} = \frac{\beta \cdot h_p}{i_y} = \frac{0,7 \cdot 6000}{i_y} = \frac{4200}{i_y}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{lim}} = \frac{4200}{i_y \cdot 86,815} = \frac{48,39}{i_y} \leq 2 \rightarrow i_y \geq 24,19 \text{ mm}$$

**IPE 80**  $\rightarrow i_y = 32,4 \text{ mm}$  (Figura 1)

- PILAR (Plano perpendicular al plano del pórtico)

$\beta \approx 0,7$  (intraslacional, por disponer arriostramientos en el plano lateral)

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{lim}}$$

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{275}} = 86,815$$

E (Acero B500S) = 210.000 MPa

$f_y$  (Acero B500S) = 275 MPa

$$\lambda_z = \frac{L_{Kz}}{i_z} = \frac{\beta \cdot h_p}{i_z} = \frac{0,7 \cdot 6000}{i_z} = \frac{4200}{i_z}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{lim}} = \frac{4200}{i_z \cdot 86,815} = \frac{48,39}{i_z} \leq 2 \rightarrow i_z \geq 24,19 \text{ mm}$$

**IPE 220**  $\rightarrow i_z = 24,8 \text{ mm}$  (Figura 1)

### 1.1.2. Jácena

- JÁCENA (Plano del pórtico)

$\beta \approx 1$  (empotrado elásticamente)

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{lim}}$$

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{275}} = 86,815$$

E (Acero B500S) = 210.000 MPa

$f_y$  (Acero B500S) = 275 MPa

$$\lambda_y = \frac{L_{Ky}}{i_y} = \frac{\beta \cdot h_p}{i_y} = \frac{1 \cdot 5000}{i_y} = \frac{5000}{i_y}$$

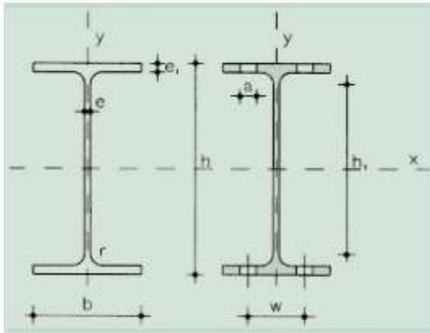
\* Al disponer de celosía, la longitud de jácena sobre la que existe pandeo es de 5m.

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{lim}} = \frac{5000}{i_y \cdot 86,815} = \frac{57,59}{i_y} \leq 2 \rightarrow i_y \geq 28,8 \text{ mm}$$

**IPE 80**  $\rightarrow i_y = 32,4 \text{ mm}$  (Figura 1)

- JÁCENA (Plano perpendicular al plano del pórtico)

$\beta \approx 0 \rightarrow$  El pandeo queda impedido por las correas



$A$ = Área de la sección	$I_x$ = Módulo de torsión de la sección
$S_x$ = Momento estático de media sección, respecto a X	$I_y$ = Módulo de alabeo de la sección
$I_x$ = Momento de inercia de la sección, respecto a X	$u$ = Perímetro de la sección
$W_x = 2I_x : h$ . Módulo resistente de la sección, respecto a X	$a$ = Diámetro del agujero del roblón normal
$i_x = \sqrt{I_x : A}$ . Radio de giro de la sección, respecto a X	$w$ = Gramil, distancia entre ejes de agujeros
$I_y$ = Momento de inercia de la sección, respecto a Y	$h_1$ = Altura de la parte plana del alma
$W_y = 2I_y : b$ . Módulo resistente de la sección, respecto a Y	$p$ = Peso por m
$i_y = \sqrt{I_y : A}$ . Radio de giro de la sección, respecto a Y	

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros			Peso	
	h mm	b mm	e mm	a <sub>s</sub> mm	r <sub>s</sub> mm	h <sub>1</sub> mm	u mm	A cm <sup>2</sup>	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>w</sub> cm <sup>4</sup>	w mm	a mm	e <sub>s</sub> mm		p kp/m
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118	—	—	3,8	6,00	C
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,30	19,7	171,0	34,2	4,07	15,90	5,79	1,24	1,140	351	—	—	4,1	8,10	C
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,20	30,4	318,0	53,0	4,90	27,70	8,65	1,45	1,770	890	35	—	4,4	10,40	C
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,40	44,2	541,0	77,3	5,74	44,90	12,30	1,65	2,630	1.981	40	11	4,7	12,90	C
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,10	61,9	869,0	109,0	6,58	68,30	16,70	1,84	3,640	3.959	44	13	5,0	15,80	P
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	698	23,90	83,2	1.320,0	146,0	7,42	101,00	22,20	2,05	5,060	7.431	48	13	5,3	18,80	P
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,50	110,0	1.940,0	194,0	8,26	142,00	28,50	2,24	6,670	12.990	52	13	5,6	22,40	P
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	178	848	33,40	143	2.770	252	9,11	205	37,3	2,48	9,15	22.670	58	17	5,9	26,20	P
IPE 240	240	120	6,2	9,8	15	190	922	39,10	183	3.890	324	9,97	284	47,3	2,69	12,00	37.390	65	17	6,2	30,70	P
IPE 270	270	135	6,6	10,2	15	220	1.040	45,90	242	5.790	429	11,20	420	62,2	3,02	15,40	70.580	72	21	6,6	36,10	P
IPE 300	300	150	7,1	10,7	15	249	1.160	53,80	314	8.360	557	12,50	604	80,5	3,35	20,10	125.900	80	23	7,1	42,20	P
IPE 330	330	160	7,5	11,5	18	271	1.250	62,60	402	11.770	713	13,70	788	98,5	3,55	26,50	199.100	85	25	7,5	49,10	P
IPE 360	360	170	8,0	12,7	18	299	1.350	72,70	510	16.270	904	15,00	1.040	123,0	3,79	37,30	313.600	90	25	8,0	57,10	P
IPE 400	400	180	8,6	13,5	21	331	1.470	84,50	654	23.130	1.160	16,50	1.320	146,0	3,95	48,30	490.000	95	28	8,6	66,30	P
IPE 450	450	190	9,4	14,6	21	379	1.610	98,80	851	33.740	1.500	18,50	1.680	176,0	4,12	65,90	791.000	100	28	9,4	77,60	P
IPE 500	500	200	10,2	16,0	21	426	1.740	116,00	1.100	48.200	1.930	20,40	2.140	214,0	4,31	91,80	1.249.000	110	28	10,2	90,70	P
IPE 550	550	210	11,1	17,2	24	468	1.880	134,00	1.390	67.120	2.440	22,30	2.670	254,0	4,45	122,00	1.884.000	115	28	11,1	106,00	C
IPE 600	600	220	12,0	19,0	24	514	2.010	155,00	1.760	92.080	3.070	24,30	3.390	308,0	4,66	172,00	2.846.000	120	28	12,0	122,00	C

Figura 1. Tabla perfiles IPE.

## 1.2. Apartado 7.4.2.4. Tipología de los perfiles

### 1.2.1. Diagonales VCV

COMPROBACIÓN ESBELTEZ → Perfil R10 demasiado pequeño ( $i = 2,5 \text{ mm}$  – Figura 3)

$$\bar{\lambda} \leq 3$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}}$$

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{275}} = 86,815$$

$$E \text{ (Acero B500S)} = 210.000 \text{ MPa}$$

$$f_y \text{ (Acero B500S)} = 275 \text{ MPa}$$

$$\lambda_1 = \frac{L_{K1}}{i_1} = \frac{\frac{l_{d1}}{2}}{i_1} = \frac{7,81 \cdot 10^3 / 2}{2,5} = 1562,05$$

$$\lambda_2 = \frac{L_{K2}}{i_2} = \frac{\frac{l_{d2}}{2}}{i_2} = \frac{6,5 \cdot 10^3 / 2}{2,5} = 1300$$

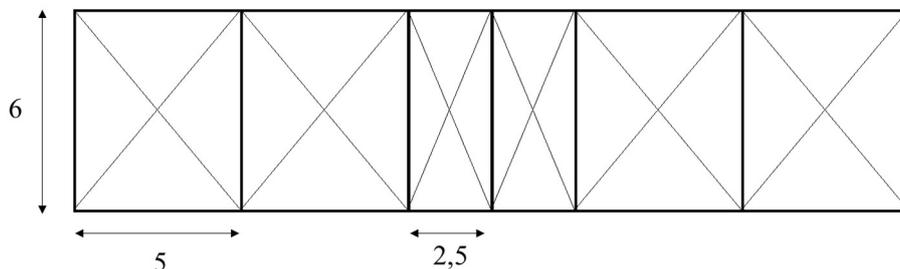


Figura 2. Dimensiones diagonales VCV.

$$l_{d1} = \sqrt{6^2 + 5^2} = 7,81 \text{ m}$$

$$l_{d2} = \sqrt{6^2 + 2,5^2} = 6,5 \text{ m}$$

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_{lim}} = 17,99 > 3$$

$$\bar{\lambda}_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_{lim}} = 14,97 > 3$$

El perfil R10 no cumple con la esbeltez en ninguna de las diagonales de la VCV.

Se calculará el radio de giro necesario para cumplir con el criterio en ambas diagonales.

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_{lim}} = \frac{7,81 \cdot \frac{10^3}{2}}{i_1 \cdot 86,815} \leq 3 \rightarrow i_1 \geq 14,99 \text{ mm}$$

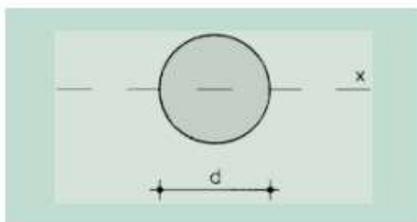
$$\bar{\lambda}_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_{lim}} = \frac{6,5 \cdot \frac{10^3}{2}}{i_2 \cdot 86,815} \leq 3 \rightarrow i_2 \geq 12,48 \text{ mm}$$

Como ambas diagonales deben ser iguales, el radio de giro será el mayor

No existe perfil R que llegue a tener como radio de giro 14,99 mm.

Se selecciona perfil tipo L para que cumpla con el radio de giro.

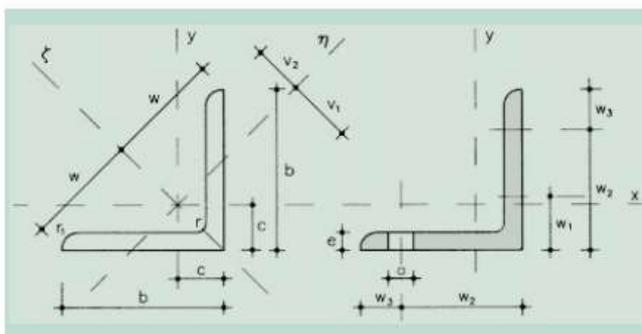
El perfil seleccionado es **L 50x50x4**, con  $i = 15,2 \text{ mm}$  (Figura 4)



A = Área de la sección  
 $I_x$  = Momento de inercia de la sección  
 $W_x = 2I_x : d$  : Módulo resistente de la sección  
 $i_x = \sqrt{I_x : A}$  : Radio de giro de la sección  
 u = Perímetro de la sección  
 p = Peso por m

Producto	Dimensiones		Términos de sección				Peso	
	d mm	u mm	A cm <sup>2</sup>	$I_x$ cm <sup>4</sup>	$W_x$ cm <sup>3</sup>	$i_x$ cm	p kp/m	
∅ 6	6	18,8	0,283	0,006	0,021	0,150	0,222	P
∅ 7	7	22,0	0,385	0,012	0,034	0,175	0,302	C
∅ 8	8	25,1	0,503	0,020	0,050	0,200	0,395	P
∅ 10	10	31,4	0,785	0,049	0,098	0,250	0,617	P
∅ 12	12	37,7	1,130	0,102	0,170	0,300	0,888	P
∅ 14	14	44,0	1,540	0,189	0,269	0,350	1,210	P
∅ 16	16	50,3	2,010	0,322	0,402	0,400	1,580	P
∅ 18	18	56,5	2,550	0,515	0,573	0,450	2,000	C
∅ 20	20	62,8	3,140	0,785	0,785	0,500	2,470	P
∅ 22	22	69,1	3,80	1,15	1,05	0,550	2,98	C
∅ 25	25	78,5	4,91	1,92	1,53	0,625	3,85	P
∅ 28	28	88,0	6,16	3,02	2,16	0,700	4,83	C
∅ 30	30	94,2	7,07	3,98	2,65	0,750	5,55	C
∅ 32	32	101,0	8,04	5,15	3,22	0,800	6,31	P
∅ 36	36	113,0	10,20	8,24	4,58	0,900	7,99	C
∅ 40	40	126,0	12,60	12,60	6,28	1,000	9,86	P
∅ 45	45	141,0	15,90	20,20	8,95	1,120	12,50	P
∅ 50	50	157,0	19,60	30,70	12,30	1,250	15,40	P

Figura 3. Tabla perfiles redondos.



$A$  = Área de la sección  
 $I_x$  = Momento de inercia de la sección, respecto a X  
 $I_z$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $\zeta$   
 $I_y$  = Momento de inercia de la sección, respecto a  $\eta$   
 $W_x = I_x / (b - c)$ . Módulo resistente de la sección, respecto a X  
 $W_y = I_y / V_1$ . Módulo resistente de la sección, respecto a  $\eta$   
 $i_x = \sqrt{I_x / A}$ . Radio de giro de la sección, respecto a X  
 $i_z = \sqrt{I_z / A}$ . Radio de giro de la sección, respecto a  $\zeta$   
 $i_y = \sqrt{I_y / A}$ . Radio de giro de la sección, respecto a  $\eta$   
 $u$  = Perímetro  
 $p$  = Peso por m  
 $a$  = Diámetro del agujero del roblón normal

Perfil	Dimensiones					Posición del centro				Términos de sección							Agujeros				Peso				
	b	e	r	r <sub>1</sub>	u	c	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	w	A	I <sub>x</sub>	I <sub>z</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>x</sub>	i <sub>z</sub>	i <sub>y</sub>	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>	a	p		
	mm	mm	mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	cm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/m	
L 40. 4	40	4	6	3,0	155	1,12	1,58	1,40	2,83	3,08	4,47	7,09	1,86	1,55	1,17	1,21	1,52	0,78	22	—	18	11	2,42	P	
L 40. 5	40	5	6	3,0	155	1,16	1,64	1,42	2,83	3,79	5,43	8,60	2,26	1,91	1,37	1,20	1,51	0,77	22	—	18	11	2,97	C	
L 40. 6	40	6	6	3,0	155	1,20	1,70	1,43	2,83	4,48	6,31	9,98	2,65	2,26	1,56	1,19	1,49	0,77	22	—	18	11	3,52	C	
L 45. 4	45	4	7	3,5	174	1,23	1,75	1,57	3,18	3,49	6,43	10,20	2,67	1,97	1,53	1,36	1,71	0,88	25	—	20	13	2,74	P	
L 45. 5	45	5	7	3,5	174	1,28	1,81	1,58	3,16	4,30	7,84	12,40	3,26	2,43	1,80	1,35	1,70	0,87	25	—	20	13	3,38	P	
L 45. 6	45	6	7	3,5	174	1,32	1,87	1,59	3,18	5,09	9,16	14,50	3,82	2,88	2,05	1,34	1,69	0,87	25	—	20	13	4,00	C	
L 50. 4	50	4	7	3,5	194	1,36	1,92	1,75	3,54	3,89	8,97	14,20	3,72	2,46	1,94	1,52	1,91	0,98	30	—	20	13	3,06	P	
L 50. 5	50	5	7	3,5	194	1,40	1,99	1,76	3,54	4,80	11,00	17,40	4,54	3,05	2,29	1,51	1,90	0,97	30	—	20	13	3,77	P	
L 50. 6	50	6	7	3,5	194	1,45	2,04	1,77	3,54	5,69	12,80	20,30	5,33	3,61	2,61	1,50	1,89	0,97	30	—	20	13	4,47	C	
L 50. 7	50	7	7	3,5	194	1,49	2,10	1,78	3,54	6,56	14,60	23,10	6,11	4,16	2,91	1,49	1,88	0,96	30	—	20	13	5,15	C	
L 50. 8	50	8	7	3,5	194	1,52	2,16	1,80	3,54	7,41	16,30	25,70	6,87	4,68	3,19	1,48	1,86	0,96	30	—	20	13	5,82	C	
L 60. 5	60	5	8	4,0	233	1,64	2,32	2,11	4,24	5,82	19,40	30,70	8,02	4,45	3,45	1,82	2,30	1,17	35	—	25	17	4,57	P	
L 60. 6	60	6	8	4,0	233	1,69	2,39	2,11	4,24	6,91	22,80	36,20	9,43	5,29	3,95	1,82	2,29	1,17	35	—	25	17	5,42	P	
L 60. 8	60	8	8	4,0	233	1,77	2,50	2,14	4,24	9,03	29,20	46,20	12,20	6,89	4,66	1,80	2,26	1,16	35	—	25	17	7,09	C	

Figura 4. Tabla perfiles L.

### 1.2.2. Diagonales CSA laterales

COMPROBACIÓN ESBELTEZ → Perfil R10 demasiado pequeño ( $i = 2,5 \text{ mm}$  – Figura 3)

$$\bar{\lambda} \leq 3$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}}$$

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{275}} = 86,815$$

$$E \text{ (Acero B500S)} = 210.000 \text{ MPa}$$

$$f_y \text{ (Acero B500S)} = 275 \text{ MPa}$$

$$\lambda = \frac{L_K}{i} = \frac{\frac{l_d}{2}}{i} = \frac{8,49 \cdot 10^3 / 2}{2,5} = 1698$$

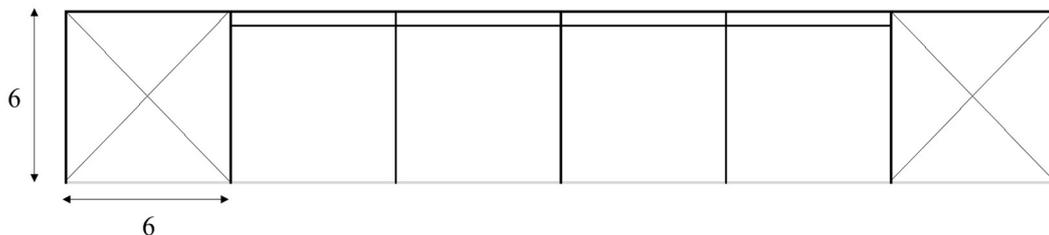


Figura 5. Dimensiones diagonales CSA laterales.

$$l_d = \sqrt{6^2 + 6^2} = 8,49 \text{ m}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}} = 19,56 > 3$$

El perfil R10 no cumple con la esbeltez en las diagonales de las CSA laterales.

Se calculará el radio de giro necesario para cumplir con el criterio en las diagonales.

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}} = \frac{8,49 \cdot \frac{10^3}{2}}{i \cdot 86,815} \leq 3 \rightarrow i \geq 16,3 \text{ mm}$$

No existe perfil R que llegue a tener como radio de giro 16,3mm.

Se selecciona perfil tipo L para que cumpla con el radio de giro.

El perfil seleccionado es **L 60x60x5**, con  $i = 18,2 \text{ mm}$  (Figura 4)

### 1.2.3. Diagonales CSA frontales

COMPROBACIÓN ESBELTEZ → Perfil R10 demasiado pequeño ( $i = 2,5 \text{ mm}$ )

$$\bar{\lambda} \leq 3$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}}$$

$$\lambda_{lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{f_y}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{275}} = 86,815$$

$$E \text{ (Acero B500S)} = 210.000 \text{ MPa}$$

$$f_y \text{ (Acero B500S)} = 275 \text{ MPa}$$

$$\lambda = \frac{L_K}{i} = \frac{\frac{l_d}{2}}{i} = \frac{8,2 \cdot 10^3 / 2}{2,5} = 1640$$

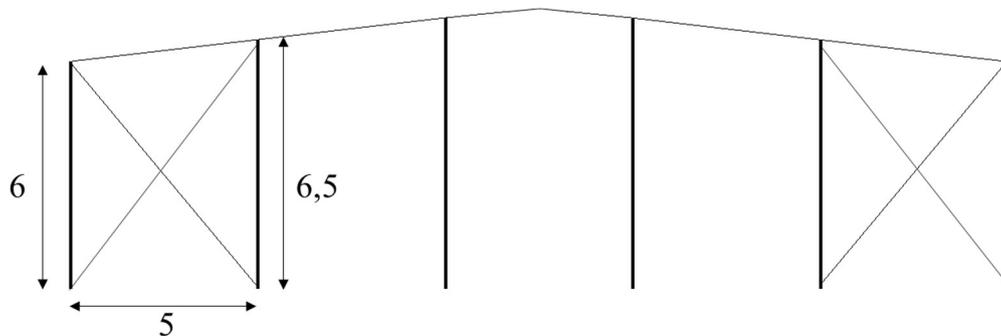


Figura 6. Dimensiones diagonales CSA frontales.

$$l_d = \sqrt{5^2 + 6,5^2} = 8,2 \text{ m}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}} = 18,89 > 3$$

El perfil R10 no cumple con la esbeltez en las diagonales de las CSA laterales.

Se calculará el radio de giro necesario para cumplir con el criterio en las diagonales.

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}} = \frac{8,2 \cdot \frac{10^3}{2}}{i \cdot 86,815} \leq 3 \rightarrow i \geq 15,74 \text{ mm}$$

No existe perfil R que llegue a tener como radio de giro 15,74 mm.

Se selecciona perfil tipo L para que cumpla con el radio de giro.

El perfil seleccionado es **L 60x60x5**, con  $i = 18,2 \text{ mm}$

### 1.2.4. Pilares pórtico interior

COMPROBACIÓN DESPLOMES → PERFIL IPE 240

$$\delta = \frac{D_y}{h_p} \leq \frac{1}{250}$$

*D: Deformada*

$$0,001PP + V(0^\circ)H1 \rightarrow D_y = 6,099 \text{ mm}$$

$$0,001PP + V(0^\circ)H2 \rightarrow \mathbf{D_y = 6,797 \text{ mm}}$$

$$0,001PP + V(180^\circ)H2 \rightarrow D_y = -6,366 \text{ mm}$$

$$0,001PP + V(0^\circ)H2 + N(EI) \rightarrow D_y = 6,408 \text{ mm}$$

$$0,001PP + V(0^\circ)H2 + N(R)2 \rightarrow D_y = 6,449 \text{ mm}$$

*hp: altura pilar*

$$hp = 6 \text{ m}$$

$$\delta = \frac{6,797 \cdot 10^{-3}}{6} = 0,0011 < \frac{1}{250} = 0,004 \rightarrow OK$$

*Como cumple el perfil IPE 240, se va a probar con el perfil IPE 220.*

*El caso con mayor deformada es:*

$$0,001PP + V(0^\circ)H2 \rightarrow \mathbf{D_y = 7,812 \text{ mm}}$$

$$\delta = \frac{7,812 \cdot 10^{-3}}{6} = 0,0013 < \frac{1}{250} = 0,004 \rightarrow OK$$

*El perfil IPE 220 cumple con los desplomes. (Figura 1)*

*Por ello, se selecciona el **perfil IPE 220 para los pilares del pórtico interior.***

### 1.2.5. Jácena pórtico interior

COMPROBACIÓN FLECHAS → PERFIL #90x6

$$\delta = \frac{D_z}{h_p} \leq \frac{1}{300}$$

*D: Deformada*

$$0,001PP + Q \rightarrow Dz = -10,463 \text{ mm}$$

$$0,001PP + V(90^\circ)H1 \rightarrow Dz = 10,622 \text{ mm}$$

$$0,001PP + V(270^\circ)H1 \rightarrow Dz = 10,632 \text{ mm}$$

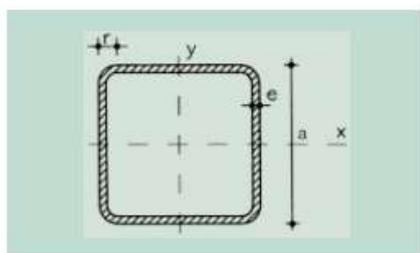
$$0,001PP + Q + N(EI) \rightarrow \mathbf{Dz = -16,042 \text{ mm}}$$

*hp: longitud mitad jácena faldón*

$$hp = 12,59 \text{ m}$$

$$\delta = \frac{D_z}{h_p} = \frac{16,042 \cdot 10^{-3}}{12,59} = 0,00127 < \frac{1}{300} = 0,0033 \rightarrow OK$$

*El perfil #90x6 cumple. (Figura 7)*



$r$  = Radio exterior de redondeo  
 $u$  = Perímetro  
 $A$  = Área de la sección  
 $S$  = Momento estático de media sección, respecto al eje X o Y  
 $I$  = Momento de inercia de la sección, respecto al eje X o Y  
 $W = 2I : d$  . Módulo resistente de la sección, respecto al eje X o Y  
 $i = \sqrt{I : A}$  . Radio de giro de la sección, respecto al eje X o Y  
 $I_t$  = Módulo de torsión de la sección

Perfil	Dimensiones				Términos de sección						Peso	
	a mm	e mm	r mm	u mm	A cm <sup>2</sup>	S cm <sup>3</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	p kp/m	
# 40.2	40	2	5	151	2,90	2,04	6,60	3,40	1,53	11,3	2,28	P
# 40.3	40	3	8	147	4,13	2,80	9,01	4,51	1,48	15,6	3,24	P
# 40.4	40	4	10	143	5,21	3,40	10,50	5,26	1,42	18,9	4,09	P
# 45.2	45	2	5	171	3,30	2,63	9,94	4,42	1,74	16,3	2,59	C
# 45.3	45	3	8	167	4,73	3,65	13,40	5,95	1,68	22,9	3,71	C
# 45.4	45	4	10	163	6,01	4,49	15,90	7,07	1,63	28,2	4,72	C
# 50.2	50	2	5	191	3,70	3,30	13,90	5,57	1,94	22,7	2,91	P
# 50.3	50	3	8	187	5,33	4,62	19,00	7,59	1,89	32,0	4,18	P
# 50.4	50	4	10	183	5,81	5,73	22,90	9,15	1,83	39,9	5,35	P
# 55.2	55	2	5	211	4,10	4,04	18,90	6,86	2,14	30,5	3,22	C
# 55.3	55	3	8	207	5,93	5,70	25,90	9,43	2,09	43,4	4,66	C
# 55.4	55	4	10	203	7,61	7,12	31,60	11,50	2,04	54,5	5,97	C
# 60.2	60	2	5	231	4,50	4,86	24,80	8,28	2,35	39,9	3,53	P
# 60.3	60	3	8	227	6,53	6,89	34,40	11,50	2,30	57,1	5,13	P
# 60.4	60	4	10	223	8,41	8,66	42,30	14,10	2,24	72,2	6,60	P
# 60.5	60	5	13	219	10,10	10,20	48,50	16,20	2,19	85,2	7,96	C
# 70.2	70	2	5	271	5,30	6,71	40,30	11,50	2,76	64,1	4,16	P
# 70.3	70	3	8	267	7,73	9,60	56,60	16,20	2,71	92,6	6,07	P
# 70.4	70	4	10	263	10,00	12,20	70,40	20,10	2,65	118,0	7,86	P
# 70.5	70	5	13	259	12,10	14,50	82,00	23,40	2,60	141,0	9,53	P
# 80.3	80	3	8	307	8,93	12,80	86,60	21,70	3,11	140,0	7,01	P
# 80.4	80	4	10	303	11,60	16,30	108,80	27,20	3,06	180,0	9,11	P
# 80.5	80	5	13	299	14,10	19,50	128,00	32,00	3,01	217,0	11,10	P
# 80.6	80	6	15	294	16,50	22,40	144,00	36,00	2,95	250,0	13,00	C
# 90.3	90	3	8	347	10,10	16,40	126,00	37,90	3,52	202,0	7,95	P
# 90.4	90	4	10	343	13,20	21,10	159,00	35,40	3,47	281,0	10,40	P
# 90.5	90	5	13	339	16,10	25,30	189,00	41,90	3,42	316,0	12,70	P
# 90.6	90	6	15	334	18,90	29,20	214,00	47,60	3,36	366,0	14,90	P
# 100.3	100	3	8	387	11,30	20,10	175,00	35,00	3,93	279,0	8,89	P

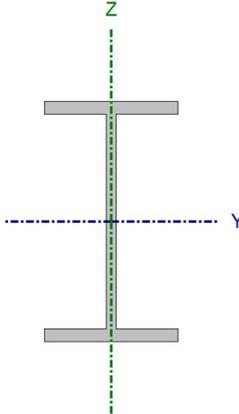
Figura 7. Tabla perfiles huecos cuadrados.

### 1.3. Apartado 7.4.2.4. Tipología de los perfiles

Comprobaciones ELU de los principales elementos constructivos a través de Cype.

#### 1.3.1. IPE 100 – Jácena PF

Barra N80/N55

Perfil: IPE 100							
Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	N80	N55	2.518	10.30	171.00	15.90	1.16
	Notas:						
	<sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado						
	<sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	0.00	1.00	0.48	1.00		
	L <sub>K</sub>	0.000	2.518	1.200	2.518		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación:							
β: Coeficiente de pandeo							
L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m)							
C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos							
C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

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

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

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

$$\bar{\lambda} : \underline{0.71} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

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

$$\mathbf{A} : \underline{10.30} \text{ cm}^2$$

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

$$\mathbf{f}_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{N}_{cr} : \underline{559.02} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

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

$$\mathbf{N}_{cr,y} : \underline{559.02} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{cr,z} : \quad \underline{\quad \infty \quad}$$

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \quad \underline{\quad 580.87 \quad} \text{ kN}$$

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

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \quad \underline{\quad 171.00 \quad} \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \quad \underline{\quad 15.90 \quad} \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \quad \underline{\quad 1.16 \quad} \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \quad \underline{\quad 350.00 \quad} \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

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

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

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

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \quad \underline{\quad 2.518 \quad} \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \quad \underline{\quad 0.000 \quad} \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \quad \underline{\quad 2.518 \quad} \text{ m}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \quad \underline{\quad 4.26 \quad} \text{ cm}$$

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

Siendo:

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

$$i_y : \quad \underline{\quad 4.07 \quad} \text{ cm}$$

$$i_z : \quad \underline{\quad 1.24 \quad} \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \quad \underline{\quad 0.00 \quad} \text{ mm}$$

$$z_0 : \quad \underline{\quad 0.00 \quad} \text{ mm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$21.61 \leq 246.60 \quad \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : \quad \underline{\quad 88.60 \quad} \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : \quad \underline{\quad 4.10 \quad} \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \quad \underline{\quad 3.63 \quad} \text{ cm}^2$$

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

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

$E$ : Módulo de elasticidad.

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

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$A_{fc,ef} : \underline{3.14} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

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

$$f_{yf} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N55, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{8.73} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{269.76} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{10.30} \text{ cm}^2$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.038} \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.048} \checkmark$$

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.046 m del nudo N80, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

**N<sub>c,Ed</sub>** : 10.14 kN

La resistencia de cálculo a compresión **N<sub>c,Rd</sub>** viene dada por:

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

**N<sub>c,Rd</sub>** : 269.76 kN

Donde:

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

**Clase** : 1

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

**A** : 10.30 cm<sup>2</sup>

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

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

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

Siendo:

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

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>** : 1.05

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

La resistencia de cálculo a pandeo **N<sub>b,Rd</sub>** en una barra comprimida viene dada por:

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

**N<sub>b,Rd</sub>** : 211.67 kN

Donde:

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

**A** : 10.30 cm<sup>2</sup>

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

**f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

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

Siendo:

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

**f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M1</sub>** : 1.05

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

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

**χ<sub>y</sub>** : 0.84

**χ<sub>T</sub>** : 0.78

Siendo:

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

**φ<sub>y</sub>** : 0.81

**φ<sub>T</sub>** : 0.83

**α**: Coeficiente de imperfección elástica.

**α<sub>y</sub>** : 0.21

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

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

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

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

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

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

$$\alpha_T : \underline{0.34}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.71}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.70}$$

$$N_{cr} : \underline{559.02} \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} : \underline{559.02} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} : \underline{580.87} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.439} \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.841} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.046 m del nudo N80, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{3.87} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.046 m del nudo N80, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{4.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{10.32} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{39.40} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{8.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^- : \underline{5.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$W_{pl,y} : \underline{39.40} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

$$\chi_{LT}^- : \underline{0.52}$$

Siendo:

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

$$\Phi_{LT}^+ : \underline{0.86}$$

$$\Phi_{LT}^- : \underline{1.34}$$

$\alpha_{LT}$ : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{0.78}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{1.21}$$

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

$$M_{cr}^+ : \underline{17.98} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cr}^- : \underline{7.38} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

Siendo:

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

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

$$M_{LTV}^+ : \underline{14.66} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{6.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{LTW}^+ : \underline{10.41} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW}^- : \underline{2.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

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

$$W_{el,y} : \underline{34.20} \text{ cm}^3$$

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

$$I_z : \underline{15.90} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{1.16} \text{ cm}^4$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

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

$G$ : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_c^+ : \underline{1.200} \text{ m}$$

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

$$L_c^- : \underline{2.518} \text{ m}$$

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

$$C_1 : \underline{1.00}$$

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

$$i_{f,z}^+ : \underline{1.45} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{1.45} \text{ cm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.049} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.046 m del nudo N80, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.046 m del nudo N80, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{2.41} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{9.20} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.075} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.046 m del nudo N80, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

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

$$V_{Ed} : \underline{5.74} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{76.54} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A_v : \underline{5.06} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

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

$$A : \underline{10.30} \text{ cm}^2$$

**b:** Ancho de la sección.

$$b : \underline{55.00} \text{ mm}$$

**$t_f$ :** Espesor del ala.

$$t_f : \underline{5.70} \text{ mm}$$

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

$$t_w : \underline{4.10} \text{ mm}$$

**r:** Radio de acuerdo entre ala y alma.

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

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

$$18.20 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.20}$$

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

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

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

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

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

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.046 m del nudo N80, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H1+0.75·N(EI).

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

$$V_{Ed} : \underline{0.21} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{100.82} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{6.67} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{10.30} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{88.60} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{4.10} \text{ mm}$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

$$5.74 \text{ kN} \leq 38.27 \text{ kN} \checkmark$$

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

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

$$V_{Ed} : \underline{5.74} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{76.54} \text{ kN}$$

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

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

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

$$0.21 \text{ kN} \leq 50.41 \text{ kN} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

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

$V_{Ed}$ : 0.21 kN

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

$V_{c,Rd}$ : 100.82 kN

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

Se debe satisfacer:

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

$\eta$ : 0.486 ✓

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

$\eta$ : 0.910 ✓

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

$\eta$ : 0.552 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.046 m del nudo N80, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

Donde:

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

$N_{c,Ed}$ : 10.14 kN

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

$M_{y,Ed}$ : 4.53 kN·m

$M_{z,Ed}$ : 0.02 kN·m

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

**Clase**: 1

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

$N_{pl,Rd}$ : 269.76 kN

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

$M_{pl,Rd,y}$ : 10.32 kN·m

$M_{pl,Rd,z}$ : 2.41 kN·m

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

**A**: Área de la sección bruta.

**A**: 10.30 cm<sup>2</sup>

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

$W_{pl,y}$ : 39.40 cm<sup>3</sup>

$W_{pl,z}$ : 9.20 cm<sup>3</sup>

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

$f_{yd}$ : 261.90 MPa

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

Siendo:

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

$f_y$ : 275.00 MPa

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

$\gamma_{M1}$ : 1.05

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

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.02}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_{y,LT} : \underline{0.60}$$

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

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

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

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

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.84}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$\chi_{LT}$ : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} : \underline{0.52}$$

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.71}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.00}$$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

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

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

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

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

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

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

$$5.74 \text{ kN} \leq 38.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{5.74} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{76.54} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.005} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

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

$$\mathbf{M}_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{M}_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$\mathbf{M}_{T,Rd} : \underline{0.31} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**W<sub>T</sub>**: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W}_T : \underline{2.04} \text{ cm}^3$$

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

$$\mathbf{f}_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$\mathbf{f}_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma}_{M0} : \underline{1.05}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.064} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.046 m del nudo N80, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

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

$$\mathbf{V}_{Ed} : \underline{4.91} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{M}_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V<sub>pl,T,Rd</sub>** viene dado por:

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

$$\mathbf{V}_{pl,T,Rd} : \underline{76.38} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$\mathbf{V}_{pl,Rd} : \underline{76.54} \text{ kN}$$

**τ<sub>T,Ed</sub>**: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\mathbf{\tau}_{T,Ed} : \underline{0.77} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{2.04} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.002} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.046 m del nudo N80, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H1+0.75·N(EI).

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

$$V_{Ed} : \underline{0.21} \text{ kN}$$

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

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

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{100.61} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{100.82} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.77} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{2.04} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

### 1.3.2. IPE 220 – Pilares PI

Barra N33/N83

Perfil: IPE 220 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N33	N83	4.500	33.40	2772.00	205.00	9.03
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.70	0.70	1.00	0.36		
L <sub>K</sub>	3.150	3.150	4.500	1.600		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

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

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

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

$$\bar{\lambda} : \underline{1.46} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{33.40} \text{ cm}^2$$

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

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

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{428.27} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

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

$$N_{cr,y} : \underline{5791.09} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{cr,z} : \underline{428.27} \text{ kN}$$

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{1081.33} \text{ kN}$$

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

Donde:

<b>I<sub>y</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	<b>I<sub>y</sub></b> : <u>2772.00</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>z</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	<b>I<sub>z</sub></b> : <u>205.00</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>t</sub></b> : Momento de inercia a torsión uniforme.	<b>I<sub>t</sub></b> : <u>9.03</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>w</sub></b> : Constante de alabeo de la sección.	<b>I<sub>w</sub></b> : <u>22700.00</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidad transversal.	<b>G</b> : <u>81000</u> MPa
<b>L<sub>ky</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	<b>L<sub>ky</sub></b> : <u>3.150</u> m
<b>L<sub>kz</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	<b>L<sub>kz</sub></b> : <u>3.150</u> m
<b>L<sub>kt</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	<b>L<sub>kt</sub></b> : <u>4.500</u> m
<b>i<sub>0</sub></b> : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	<b>i<sub>0</sub></b> : <u>9.44</u> cm

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

Siendo:

<b>i<sub>y</sub></b> , <b>i<sub>z</sub></b> : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	<b>i<sub>y</sub></b> : <u>9.11</u> cm
	<b>i<sub>z</sub></b> : <u>2.48</u> cm
<b>y<sub>0</sub></b> , <b>z<sub>0</sub></b> : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	<b>y<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm
	<b>z<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm

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

Se debe satisfacer:

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

$$34.17 \leq 248.36 \quad \checkmark$$

Donde:

<b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.	<b>h<sub>w</sub></b> : <u>201.60</u> mm
<b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.	<b>t<sub>w</sub></b> : <u>5.90</u> mm
<b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.	<b>A<sub>w</sub></b> : <u>11.89</u> cm <sup>2</sup>
<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : Área reducida del ala comprimida.	<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : <u>10.12</u> cm <sup>2</sup>
<b>k</b> : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	<b>k</b> : <u>0.30</u>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>f<sub>yf</sub></b> : Límite elástico del acero del ala comprimida.	<b>f<sub>yf</sub></b> : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.029} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.455 m del nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{t,Ed}} : \underline{25.07} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N<sub>t,Rd</sub>** viene dada por:

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

$$\mathbf{N_{t,Rd}} : \underline{874.76} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$\mathbf{A} : \underline{33.40} \text{ cm}^2$$

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

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.098} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.277} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N33, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{86.03} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N<sub>c,Rd</sub>** viene dada por:

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

$$N_{c,Rd} : \underline{874.76} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{33.40} \text{ cm}^2$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

La resistencia de cálculo a pandeo **N<sub>b,Rd</sub>** en una barra comprimida viene dada por:

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

$$N_{b,Rd} : \underline{311.10} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{33.40} \text{ cm}^2$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

**χ:** Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_y : \underline{0.95}$$

$$\chi_z : \underline{0.36}$$

$$\chi_T : \underline{0.65}$$

Siendo:

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

$$\phi_y : \underline{0.60}$$

$$\phi_z : \underline{1.79}$$

$$\phi_T : \underline{1.05}$$

**α:** Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

$$\alpha_z : \underline{0.34}$$

$$\alpha_T : \underline{0.34}$$

**λ̄:** Esbeltez reducida.

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.40}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.46}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.92}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{428.27} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{5791.09} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{428.27} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} : \underline{1081.33} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.295} \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.645} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N33, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{22.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N33, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

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

$$M_{Ed}^- : \underline{19.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{74.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{285.00} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{34.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^- : \underline{65.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$W_{pl,y} : \underline{285.00} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$\chi_{LT}^+ : \underline{0.46}$$

$$\chi_{LT}^- : \underline{0.88}$$

Siendo:

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

$$\Phi_{LT}^+ : \underline{1.49}$$

$$\Phi_{LT}^- : \underline{0.74}$$

$\alpha_{LT}$ : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{1.32}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{0.62}$$

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

$$M_{cr}^+ : \underline{44.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cr}^- : \underline{204.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

Siendo:

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

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

$$M_{LTV}^+ : \underline{39.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{110.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{LTW}^+ : \underline{21.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW}^- : \underline{172.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

**W<sub>el,y</sub>**: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{252.00} \text{ cm}^3$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{205.00} \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{9.03} \text{ cm}^4$$

**E**: Módulo de elasticidad.

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

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

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

**L<sub>c</sub><sup>+</sup>**: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{4.500} \text{ m}$$

**L<sub>c</sub><sup>-</sup>**: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.600} \text{ m}$$

**C<sub>1</sub>**: 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<sub>f,z</sub>**: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{2.90} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{2.90} \text{ cm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

**M<sub>Ed</sub><sup>-</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{15.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

**W<sub>pl,z</sub>**: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{58.10} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.068} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{16.36} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{240.59} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{15.91} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

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

$$A : \underline{33.40} \text{ cm}^2$$

$b$ : Ancho de la sección.

$$b : \underline{110.00} \text{ mm}$$

$t_f$ : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{9.20} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{5.90} \text{ mm}$$

$r$ : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{12.00} \text{ mm}$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

$$30.10 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{30.10}$$

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

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

$$\lambda_{\text{máx}} : \underline{64.71}$$

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

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

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

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

Siendo:

$f_{\text{ref}}$ : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

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

$$V_{\text{Ed}} : \underline{0.05} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{\text{c,Rd}} : \underline{325.19} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{21.51} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{33.40} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{201.60} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{5.90} \text{ mm}$$

$f_{\text{yd}}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{\text{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$f_y$  : 275.00 MPa

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

$\gamma_{M0}$  : 1.05

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

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

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

**16.36 kN ≤ 120.29 kN ✓**

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

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

$V_{Ed}$  : 16.36 kN

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

$V_{c,Rd}$  : 240.59 kN

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

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

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

**0.05 kN ≤ 162.59 kN ✓**

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$ .

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

$V_{Ed}$  : 0.05 kN

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

$V_{c,Rd}$  : 325.19 kN

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.312} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.590} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.721} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>és</sup>imos se producen en un punto situado a una distancia de 4.455 m del nudo N33, para la combinaci3n de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

Donde:

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresi3n solicitante de c3lculo p<sup>és</sup>imo.

$$N_{c,Ed} : \underline{77.58} \text{ kN}$$

**M<sub>y,Ed</sub>, M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de c3lculo p<sup>és</sup>imos, seg<sup>u</sup>n los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{16.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Clase**: Clase de la secci3n, seg<sup>u</sup>n la capacidad de deformaci3n y de desarrollo de la resistencia pl3stica de sus elementos planos, para axil y flexi3n simple.

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

**N<sub>pl,Rd</sub>**: Resistencia a compresi3n de la secci3n bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{874.76} \text{ kN}$$

**M<sub>pl,Rd,y</sub>, M<sub>pl,Rd,z</sub>**: Resistencia a flexi3n de la secci3n bruta en condiciones pl3sticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{74.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{15.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Art3culo 6.3.4.2)

**A**: 3rea de la secci3n bruta.

$$A : \underline{33.40} \text{ cm}^2$$

**W<sub>pl,y</sub>, W<sub>pl,z</sub>**: M3dulos resistentes pl3sticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{285.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{58.10} \text{ cm}^3$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de c3lculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: L3mite el3stico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

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

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

**k<sub>y</sub>, k<sub>z</sub>, k<sub>y,LT</sub>**: Coeficientes de interacci3n.

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

$$k_y : \underline{1.02}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.35}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_{y,LT} : \underline{0.97}$$

**C<sub>m,y</sub>, C<sub>m,z</sub>, C<sub>m,LT</sub>**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

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

	$C_{m,z} :$	<u>1.00</u>
	$C_{m,LT} :$	<u>1.00</u>
$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$\chi_y :$	<u>0.95</u>
	$\chi_z :$	<u>0.36</u>
$\chi_{LT}$ : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.	$\chi_{LT} :$	<u>0.46</u>
$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	$\bar{\lambda}_y :$	<u>0.40</u>
	$\bar{\lambda}_z :$	<u>1.46</u>
$\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.	$\alpha_y :$	<u>0.60</u>
	$\alpha_z :$	<u>0.60</u>

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

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

$$16.36 \text{ kN} \leq 120.29 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{16.36}{\text{ kN}}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{240.59}{\text{ kN}}$$

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

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

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

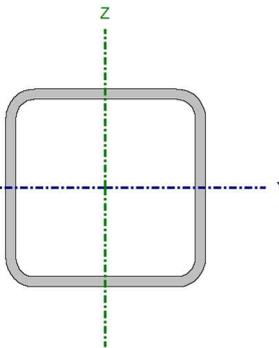
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

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

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

### 1.3.3. #90x5 – Jácena superior e inferior PI

Barra N106/N37

Perfil: #90x5 Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N106	N37	2.518	16.08	186.61	186.61	316.45	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	0.00	1.00	0.48	1.00		
	L <sub>K</sub>	0.000	2.518	1.200	2.518		
	C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

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

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

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

$\bar{\lambda}$  : 0.85 ✓

Donde:

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

**Clase :** 1

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

**A :** 16.08 cm<sup>2</sup>

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

**f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub> :** 610.05 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

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

**N<sub>cr,y</sub> :** 610.05 kN

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

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

**N<sub>cr,z</sub> :** ∞

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

**N<sub>cr,T</sub> :** 110420.64 kN

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

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

**E**: Módulo de elasticidad.

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

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

Siendo:

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

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$I_y : \frac{186.61}{\text{cm}^4}$$

$$I_z : \frac{186.61}{\text{cm}^4}$$

$$I_t : \frac{316.45}{\text{cm}^4}$$

$$I_w : \frac{0.00}{\text{cm}^6}$$

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

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

$$L_{ky} : \frac{2.518}{\text{m}}$$

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

$$L_{kt} : \frac{2.518}{\text{m}}$$

$$i_0 : \frac{4.82}{\text{cm}}$$

$$i_y : \frac{3.41}{\text{cm}}$$

$$i_z : \frac{3.41}{\text{cm}}$$

$$y_0 : \frac{0.00}{\text{mm}}$$

$$z_0 : \frac{0.00}{\text{mm}}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$16.00 \leq 305.45 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

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

**E**: Módulo de elasticidad.

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \frac{80.00}{\text{mm}}$$

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

$$A_w : \frac{8.00}{\text{cm}^2}$$

$$A_{fc,ef} : \frac{4.50}{\text{cm}^2}$$

$$k : \frac{0.30}$$

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

$$f_{yf} : \frac{275.00}{\text{MPa}}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.154} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

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

$N_{t,Ed} : \underline{64.93} \text{ kN}$

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

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

$N_{t,Rd} : \underline{421.08} \text{ kN}$

Donde:

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

$A : \underline{16.08} \text{ cm}^2$

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

$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.381} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.604} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N106, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

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

$N_{c,Ed} : \underline{160.23} \text{ kN}$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{421.08} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{16.08} \text{ cm}^2$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

La resistencia de cálculo a pandeo **N<sub>b,Rd</sub>** en una barra comprimida viene dada por:

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

$$N_{b,Rd} : \underline{265.28} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{16.08} \text{ cm}^2$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

**χ:** Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_y : \underline{0.63}$$

$$\chi_T : \underline{1.00}$$

Siendo:

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

$$\phi_y : \underline{1.02}$$

$$\phi_T : \underline{0.47}$$

**α:** Coeficiente de imperfección elástica.

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

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

**λ̄:** Esbeltez reducida.

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.85}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.06}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{610.05} \text{ kN}$$

**N<sub>cr,y</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{610.05} \text{ kN}$$

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

$N_{cr,z}$  :  $\infty$

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

$N_{cr,T}$  : 110420.64 kN

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

Se debe satisfacer:

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

$\eta$  : 0.219 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$ .

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

$M_{Ed}^+$  : 1.39 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q$ .

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

$M_{Ed}^-$  : 2.87 kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$  : 13.12 kN·m

Donde:

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

**Clase** : 1

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

$W_{pl,y}$  : 50.09 cm<sup>3</sup>

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

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

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

Siendo:

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

$f_y$  : 275.00 MPa

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

$\gamma_{M0}$  : 1.05

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

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.002 ✓

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

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N106, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^+ : 0.02 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N106, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

**M<sub>Ed</sub><sup>-</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^- : 0.02 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

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

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

$$\mathbf{M_{c,Rd} : 13.12 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Donde:

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

$$\mathbf{Clase : 1}$$

**W<sub>pl,z</sub>**: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$\mathbf{W_{pl,z} : 50.09 \text{ cm}^3}$$

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

$$\mathbf{f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \mathbf{0.056} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N37, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

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

$$\mathbf{V_{Ed} : 6.80 \text{ kN}}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$\mathbf{V_{c,Rd} : 120.97 \text{ kN}}$$

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

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

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

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

Siendo:

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{80.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

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

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

$$16.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{16.00}$$

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

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

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

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

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

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

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

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

$$V_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{122.14} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{8.08} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{16.08} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{80.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

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

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

$$18.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.00}$$

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

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

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

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

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

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

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

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

$$6.55 \text{ kN} \leq 60.48 \text{ kN} \quad \checkmark$$

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

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

$$V_{Ed} : \underline{6.55} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{120.97} \text{ kN}$$

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

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

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

$$0.01 \text{ kN} \leq 61.07 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N106, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{122.14} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.595} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.902} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.559} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N37, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

Donde:

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{158.63} \text{ kN}$$

**M<sub>y,Ed</sub>, M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{2.87} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

**N<sub>pl,Rd</sub>**: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{421.08} \text{ kN}$$

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

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{13.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{13.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

**A**: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{16.08} \text{ cm}^2$$

**W<sub>pl,y</sub>, W<sub>pl,z</sub>**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{50.09} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{50.09} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

**k<sub>y</sub>, k<sub>z</sub>**: Coeficientes de interacción.

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

$$k_y : \underline{1.39}$$

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

$$k_z : \underline{1.00}$$

**C<sub>m,y</sub>, C<sub>m,z</sub>**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

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

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

**χ<sub>y</sub>, χ<sub>z</sub>**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.63}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

**λ̄<sub>y</sub>, λ̄<sub>z</sub>**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.85}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.00}$$

**α<sub>y</sub>, α<sub>z</sub>**: Factores dependientes de la clase de la sección.

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

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

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

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

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

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

$$6.55 \text{ kN} \leq 60.48 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{6.55}{\quad} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{120.97}{\quad} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta < 0.001 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

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

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

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \frac{10.92}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \frac{72.25}{\quad} \text{ cm}^3$$

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

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

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.042} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>ésimos</sup> se producen en el nudo N106, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(0°)H2+1.5·N(R)2.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo p<sup>ésimo</sup>.

$$\mathbf{V_{Ed}} : \underline{5.06} \text{ kN}$$

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

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

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V<sub>pl,T,Rd</sub>** viene dado por:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} : \underline{120.95} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$\mathbf{V_{pl,Rd}} : \underline{120.97} \text{ kN}$$

**τ<sub>T,Ed</sub>**: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.03} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

**W<sub>T</sub>**: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W_T} : \underline{72.25} \text{ cm}^3$$

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

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>ésimos</sup> se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo p<sup>ésimo</sup>.

$$\mathbf{V_{Ed}} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

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

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

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido **V<sub>pl,T,Rd</sub>** viene dado por:

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{122.11} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{122.14} \text{ kN}$$

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

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

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{72.25} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

### 1.3.4. #80x4 – Diagonales y montantes celosía

Barra N83/N38

Perfil: #80x4						
Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N83	N38	3.081	11.60	108.34	108.34	180.76
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L <sub>K</sub>	3.081	3.081	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

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

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

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

$$\bar{\lambda} : \underline{1.16} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

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

$$\text{A} : \underline{11.60} \text{ cm}^2$$

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

$$\text{f}_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

$$\text{N}_{cr} : \underline{236.58} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

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

$$\text{N}_{cr,y} : \underline{236.58} \text{ kN}$$

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

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

$$\text{N}_{cr,z} : \underline{236.58} \text{ kN}$$

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\text{N}_{cr,T} : \underline{\infty}$$

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

Donde:

<b>I<sub>y</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	<b>I<sub>y</sub></b> : <u>108.34</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>z</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	<b>I<sub>z</sub></b> : <u>108.34</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>t</sub></b> : Momento de inercia a torsión uniforme.	<b>I<sub>t</sub></b> : <u>180.76</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>w</sub></b> : Constante de alabeo de la sección.	<b>I<sub>w</sub></b> : <u>0.00</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidad transversal.	<b>G</b> : <u>81000</u> MPa
<b>L<sub>ky</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	<b>L<sub>ky</sub></b> : <u>3.081</u> m
<b>L<sub>kz</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	<b>L<sub>kz</sub></b> : <u>3.081</u> m
<b>L<sub>kt</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	<b>L<sub>kt</sub></b> : <u>0.000</u> m
<b>i<sub>0</sub></b> : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	<b>i<sub>0</sub></b> : <u>4.32</u> cm

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

Siendo:

<b>i<sub>y</sub></b> , <b>i<sub>z</sub></b> : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	<b>i<sub>y</sub></b> : <u>3.06</u> cm
	<b>i<sub>z</sub></b> : <u>3.06</u> cm
<b>y<sub>0</sub></b> , <b>z<sub>0</sub></b> : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	<b>y<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm
	<b>z<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm

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

Se debe satisfacer:

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

$$18.00 \leq 307.36 \checkmark$$

Donde:

<b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.	<b>h<sub>w</sub></b> : <u>72.00</u> mm
<b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.	<b>t<sub>w</sub></b> : <u>4.00</u> mm
<b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.	<b>A<sub>w</sub></b> : <u>5.76</u> cm <sup>2</sup>
<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : Área reducida del ala comprimida.	<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : <u>3.20</u> cm <sup>2</sup>
<b>k</b> : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	<b>k</b> : <u>0.30</u>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>f<sub>yf</sub></b> : Límite elástico del acero del ala comprimida.	<b>f<sub>yf</sub></b> : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.140} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.986 m del nudo N83, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{t,Ed}} : \underline{42.44} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N<sub>t,Rd</sub>** viene dada por:

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

$$\mathbf{N_{t,Rd}} : \underline{303.75} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$\mathbf{A} : \underline{11.60} \text{ cm}^2$$

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

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.377} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.832} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.136 m del nudo N83, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{114.41} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N<sub>c,Rd</sub>** viene dada por:

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

$$N_{c,Rd} : \underline{303.75} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{11.60} \text{ cm}^2$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

La resistencia de cálculo a pandeo **N<sub>b,Rd</sub>** en una barra comprimida viene dada por:

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

$$N_{b,Rd} : \underline{137.53} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{11.60} \text{ cm}^2$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

**χ:** Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_y : \underline{0.45}$$

$$\chi_z : \underline{0.45}$$

Siendo:

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

$$\phi_y : \underline{1.41}$$

$$\phi_z : \underline{1.41}$$

**α:** Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

**λ̄:** Esbeltez reducida.

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.16}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.16}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{236.58} \text{ kN}$$

**N<sub>cr,y</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{236.58} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{236.58} \text{ kN}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.561 m del nudo N83, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{8.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{32.44} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.136 m del nudo N83, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.14} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{87.10} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{5.76} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

$d$ : Altura del alma.

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

$t_w$ : Espesor del alma.

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

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

$$18.00 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.00}$$

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

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

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

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

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

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.  
 $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_{ref}$  : 235.00 MPa  
 $f_y$  : 275.00 MPa

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

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

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

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

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

**0.12 kN ≤ 43.55 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.340 m del nudo N83, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$V_{Ed}$  : 0.12 kN

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

$V_{c,Rd}$  : 87.10 kN

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$\eta$  : **0.388** ✓

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

$\eta$  : **0.851** ✓

$\eta$  : **0.843** ✓

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.561 m del nudo N83, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

Donde:

**N<sub>c,Ed</sub>**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{114.31} \text{ kN}$$

**M<sub>y,Ed</sub>, M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

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

**N<sub>pl,Rd</sub>**: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{303.75} \text{ kN}$$

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

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{8.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{8.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

**A**: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{11.60} \text{ cm}^2$$

**W<sub>pl,y</sub>, W<sub>pl,z</sub>**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{32.44} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{32.44} \text{ cm}^3$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

**k<sub>y</sub>, k<sub>z</sub>**: Coeficientes de interacción.

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

$$k_y : \underline{1.66}$$

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

$$k_z : \underline{1.66}$$

**C<sub>m,y</sub>, C<sub>m,z</sub>**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

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

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

**χ<sub>y</sub>, χ<sub>z</sub>**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.45}$$

$$\chi_z : \underline{0.45}$$

**λ̄<sub>y</sub>, λ̄<sub>z</sub>**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.16}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.16}$$

**α<sub>y</sub>, α<sub>z</sub>**: Factores dependientes de la clase de la sección.

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

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

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.340 m del nudo N83, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$0.12 \text{ kN} \leq 43.55 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{0.12}{\quad} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{87.10}{\quad} \text{ kN}$$

**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.

## 2. Anexo 2 – Cálculo estructural nave articulada

### 2.1. Apartado 7.4.3.2. Tipología de los perfiles

Comprobaciones ELU de los principales elementos constructivos. En este caso solo varían de la nave empotrada los pilares.

#### 2.1.1. IPE 240 – Pilares PI

Barra N33/N83

Perfil: IPE 240 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N33	N83	4.500	39.10	3892.00	284.00	12.95
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
Pandeo	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	1.00	0.36		
L <sub>K</sub>	4.500	4.500	4.500	1.600		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

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

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

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

$$\bar{\lambda} : \underline{1.92} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

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

$$A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

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

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

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{290.72} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

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

$$N_{cr,y} : \underline{3984.16} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{cr,z} : \underline{290.72} \text{ kN}$$

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{1340.60} \text{ kN}$$

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

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{3892.00} \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{284.00} \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{12.95} \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{37400.00} \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

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

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

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

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{4.500} \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{4.500} \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{4.500} \text{ m}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{10.33} \text{ cm}$$

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

Siendo:

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

$$i_y : \underline{9.98} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{2.70} \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>** , **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$35.55 \leq 246.95 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : \underline{220.40} \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.20} \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \underline{13.66} \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{11.76} \text{ cm}^2$$

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

$$k : \underline{0.30}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

**E**: 210000 MPa

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

**f<sub>yf</sub>**: 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

**η**: 0.024 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.455 m del nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

**N<sub>t,Ed</sub>**: 25.05 kN

La resistencia de cálculo a tracción **N<sub>t,Rd</sub>** viene dada por:

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

**N<sub>t,Rd</sub>**: 1024.05 kN

Donde:

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

**A**: 39.10 cm<sup>2</sup>

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

**f<sub>yd</sub>**: 261.90 MPa

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

Siendo:

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

**f<sub>y</sub>**: 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>M0</sub>**: 1.05

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

Se debe satisfacer:

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

**η**: 0.084 ✓

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

**η**: 0.376 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N33, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{86.39} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{1024.05} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

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

$$A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{229.92} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

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

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$\chi_y : \underline{0.92}$$

$$\chi_z : \underline{0.22}$$

$$\chi_T : \underline{0.66}$$

Siendo:

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

$$\phi_y : \underline{0.67}$$

$$\phi_z : \underline{2.64}$$

$$\phi_T : \underline{1.02}$$

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

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

$$\alpha_z : \underline{0.34}$$

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

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

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

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

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

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\alpha_T : \underline{0.34}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.52}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.92}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.90}$$

$$N_{cr} : \underline{290.72} \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} : \underline{3984.16} \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} : \underline{290.72} \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} : \underline{1340.60} \text{ kN}$$

### **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.183} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.367} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.455 m del nudo N33, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{17.58} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.455 m del nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{13.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{96.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{367.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo  $M_{b,Rd}$  viene dado por:

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{47.96} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^- : \underline{86.47} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{367.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$\chi_{LT}$ : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT}^+ : \underline{0.50}$$

$$\chi_{LT}^- : \underline{0.90}$$

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\Phi_{LT}^+ : \underline{1.39}$$

$$\Phi_{LT}^- : \underline{0.70}$$

$\alpha_{LT}$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_{LT} : \underline{0.21}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{1.25}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{0.57}$$

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr}^+ : \underline{64.54} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cr}^- : \underline{306.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTV}^2}$$

Siendo:

$M_{LTV}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV}^+ : \underline{55.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{155.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{LTw}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw}^+ : \underline{33.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTw}^- : \underline{264.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{324.33} \text{ cm}^3$$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{284.00} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{12.95} \text{ cm}^4$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

$G$ : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

$L_c^+$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{4.500} \text{ m}$$

$L_c^-$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{1.600} \text{ m}$$

$C_1$ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{3.17} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{3.17} \text{ cm}$$

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.008} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.455 m del nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.455 m del nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1+0.75·N(R)2.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{19.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

**$W_{pl,z}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{73.90} \text{ cm}^3$$

**$f_{yd}$ :** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

**$f_y$ :** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**$\gamma_{M0}$ :** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.046} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.455 m del nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

**$V_{Ed}$ :** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{13.25} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  **$V_{c,Rd}$**  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{289.23} \text{ kN}$$

Donde:

**$A_v$ :** Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{19.13} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

**A:** Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

**b:** Ancho de la sección.

$$b : \underline{120.00} \text{ mm}$$

**$t_f$ :** Espesor del ala.

$$t_f : \underline{9.80} \text{ mm}$$

**$t_w$ :** Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.20} \text{ mm}$$

**r:** Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{15.00} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

#### Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

**30.71 < 64.71** ✓

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w$  : 30.71

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$  : 64.71

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

$\varepsilon$ : Factor de reducción.

$\varepsilon$  : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref}$  : 235.00 MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

#### **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$\eta < 0.001$  ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 0.03 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$  : 384.61 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{25.44} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

$d$ : Altura del alma.

$$d : \underline{220.40} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.20} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

#### **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$10.08 \text{ kN} \leq 144.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.278 m del nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{10.08} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{289.23} \text{ kN}$$

#### **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.03 \text{ kN} \leq 192.30 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.278 m del nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{384.61} \text{ kN}$$

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.259} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.459} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.688} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 4.455 m del nudo N33, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{77.67} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{17.58} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{1024.05} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{96.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{19.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

### Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

**A**: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{367.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{73.90} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$k_y, k_z, k_{y,LT}$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.03}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.47}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_{y,LT} : \underline{0.95}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}, C_{m,LT}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,LT} : \underline{1.00}$$

$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.92}$$

$$\chi_z : \underline{0.22}$$

$\chi_{LT}$ : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} : \underline{0.50}$$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.52}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.92}$$

$\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

### **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (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 0.278 m del nudo N33, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$10.08 \text{ kN} \leq 144.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{10.08} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{289.23} \text{ kN}$$

**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.

### 3. Anexo 3 – Cálculo mediciones

Para obtener las mediciones de los montantes VCV y correas se parte de conocer la longitud de los perfiles y el número. Obteniendo los kg por longitud de cada uno de los elementos se pueden obtener los kg totales de estos perfiles.

	Longitud perfiles (m)	Nº perfiles	Long. total (m)	Ud. Long. (m)	Kg / Ud. Long.	Kg total
<b>Montantes VCV</b>	6	30	180	24	190,23	<b>1426,73</b>
<b>Correas cubierta</b>	36	24	864	1	5,43	<b>4691,52</b>
<b>Correas lateral</b>	36	6	216	1	5,43	<b>1172,88</b>



# **PLIEGO DE CONDICIONES**



# Índice

1. Pliego de cláusulas administrativas .....	132
1.1. Disposiciones generales .....	132
1.1.1. Naturaleza y objeto del pliego de condiciones .....	132
1.1.2. Documentación del contrato de obra .....	132
1.2. Disposiciones facultativas .....	133
1.2.1. Delimitación de funciones de los agentes intervinientes .....	133
1.2.2. Obligaciones y derechos generales del constructor o contratista.....	133
1.3. Disposiciones económicas.....	134
1.3.1. Objeto.....	134
1.3.2. Composición de los precios unitarios .....	134
2. Pliego de condiciones técnicas particulares.....	136
2.1. Objeto .....	136
2.2. Documentos.....	136
2.2.1. Memoria.....	136
2.2.2. Anexos a la memoria .....	136
2.2.3. Presupuesto .....	136
2.2.4. Planos.....	137
2.2.5. Pliego de condiciones .....	137
2.3. Materiales y ejecución.....	138
2.3.1. Hormigón en masa .....	138
2.3.2. Acero para armaduras .....	139
2.3.3. Acero en correas metálicas .....	140
2.3.4. Acero en pilares y vigas .....	142

# 1. Pliego de cláusulas administrativas

## 1.1. Disposiciones generales

### 1.1.1. Naturaleza y objeto del pliego de condiciones

El presente Pliego de Condiciones constituye un documento donde se recogen las condiciones técnicas tanto generales como particulares que deben cumplir los materiales y unidades de obra, además de todo lo especificado en los otros documentos del proyecto.

Este pliego se realiza para describir las condiciones técnicas, administrativas, facultativas y legales que serán de aplicación al proyecto de trabajo de fin de máster (TFM) *Cálculo comparativo de la estructura de una nave industrial con base empotrada y articulada. Comparación económica y medioambiental.*

### 1.1.2. Documentación del contrato de obra

El contrato de obra estará formado por los siguientes documentos relacionados por orden de importancia en relación al valor de sus especificaciones:

1. Las condiciones establecidas en el documento de contrato de empresa o arrendamiento de obra, en caso de existir.
2. El presente pliego de cláusulas administrativas así como el pliego de condiciones particulares de este mismo documento.
3. Los documentos del proyecto, incluyendo memoria, planos, mediciones y presupuesto. En caso de existir, también se incluirá el estudio de seguridad y salud y el proyecto de control de calidad de la edificación.

## **1.2. Disposiciones facultativas**

### **1.2.1. Delimitación de funciones de los agentes intervinientes**

#### **1.2.1.1. El director del proyecto**

Las obligaciones del director del proyecto son:

- a) Poseer la titulación académica y profesional habilitante de arquitecto, arquitecto técnico o ingeniero técnico y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión.
- b) Redactar el proyecto sujeto a la normativa vigente y a lo establecido en el contrato y entregarlo, con los visados preceptivos.
- c) Ajustarse a las indicaciones e instrucciones del tutor del proyecto.
- d) En caso de llevar a cabo el presente proyecto, acordar con el promotor la contratación de colaboraciones parciales.

#### **1.2.1.2. El tutor del proyecto**

La función del tutor del proyecto es supervisar el trabajo realizado por el director del proyecto y verificar la precisión técnica y veracidad del proyecto final.

#### **1.2.1.3. Otros**

En caso de que el proyecto se llevara a cabo se incluirían como agentes del proyecto al promotor, el constructor, el director de obra, el director de ejecución de obra así como a las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación.

### **1.2.2. Obligaciones y derechos generales del constructor o contratista**

#### **1.2.2.1. Responsabilidades**

El director del proyecto tendrá la plena responsabilidad de aportar la documentación suficiente para comprender la totalidad del proyecto y, en caso de que le sea requerida, aportar las aclaraciones pertinentes.

#### **1.2.2.2. Verificación de los documentos del proyecto**

Los documentos del proyecto serán verificados y, en caso de ser adecuados, aceptados por el tutor del proyecto. En caso negativo se indicarán los cambios a realizar para que estos sean validados.

#### **1.2.2.3. Modificaciones**

El director del proyecto está cualificado para realizar alteraciones o modificaciones en el proyecto al que hace referencia el presente pliego siempre que cumpla las condiciones técnicas establecidas en el proyecto y en la normativa de aplicación.

## **1.3. Disposiciones económicas**

### **1.3.1. Objeto**

En el presente apartado se describen detalladamente los precios tenidos en cuenta a la hora de calcular el Presupuesto del proyecto al que se hace referencia.

### **1.3.2. Composición de los precios unitarios**

El cálculo de los precios de las diferentes unidades de obra es igual a la suma de los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

#### **COSTES DIRECTOS**

Consistirán de:

- La mano de obra que actúa directamente en la ejecución de la unidad de obra.
- Los materiales necesarios para su ejecución.
- Los equipos y sistemas técnicos de seguridad y salud necesarios para su ejecución.
- Los gastos derivados tengan lugar por el funcionamiento de la maquinaria utilizada.
- Los gastos de conservación y amortización de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos.

#### **COSTES INDIRECTOS**

Los gastos de comunicaciones, almacenes, laboratorios, talleres, seguros....

Todos estos gastos se consideran como un porcentaje de los costes directos.

#### **PRECIO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL (PEM)**

Es el resultado obtenido de la suma de los anteriores conceptos, siendo los capítulos de los que consta el proyecto.

#### **GASTOS GENERALES**

Los gastos generales de la empresa. Se consideran como un porcentaje del PEM (entre un 13% y un 18%).

#### **BENEFICIO INDUSTRIAL**

El beneficio industrial del contratista se establece en el 6% sobre el PEM.

#### **PRECIO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA**

Es el resultado obtenido de la suma de los anteriores conceptos a excepción del beneficio industrial.

### **HONORARIOS PROYECTO**

Los honorarios del proyecto se establecen como el 3% del PEC.

### **HONORARIOS PROYECTISTA**

Los honorarios del proyectista se establecen como el 4% del PEC.

### **PRESUPUESTO TOTAL**

El precio total es la suma de todos los costes anteriormente descritos, siendo aplicado el 21% sobre ello.

## **2. Pliego de condiciones técnicas particulares**

### **2.1. Objeto**

El objeto del presente pliego de condiciones técnicas particulares es establecer los diferentes documentos que formarán parte del proyecto así como las características de los materiales utilizados y su ejecución.

Los documentos incluidos en el apartado de Materiales y ejecución se obtienen del Pliego de Condiciones técnicas del Generador de precios.

### **2.2. Documentos**

Los documentos que conforman el presente proyecto serán entregados al Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción de la Universidad Jaume I (UJI). Estos documentos serán la memoria descriptiva del proyecto, los anexos correspondientes, el presupuesto, los planos y el pliego de condiciones.

En los siguientes apartados se describe con mayor detalle el contenido de cada uno de dichos documentos:

#### **2.2.1. Memoria**

Se trata del documento en el que se describen y justifican las soluciones adoptadas en el proyecto. La memoria debe ser definida y comprendida y debe poder realizarse su ejecución sin necesidad de consultar los anexos a la misma.

En la memoria se incluirán los requisitos de diseño del proyecto, el análisis de soluciones y alternativas y los resultados finales obtenidos y las decisiones tomadas.

#### **2.2.2. Anexos a la memoria**

Estarán formados por documentos que tienen como función desarrollar, aclarar y justificar los cálculos y apartados de la memoria o de otros documentos básicos del proyecto.

#### **2.2.3. Presupuesto**

El presupuesto contendrá un desglose del coste de los elementos involucrados en el desarrollo material del proyecto: material, maquinaria, personal, software, asesoría técnica . . . Los costes

que se incluirán en el mismo son los que se establecen en las Disposiciones económicas del Pliego de condiciones generales.

#### **2.2.4. Planos**

Los planos tienen por objeto mostrar de una forma gráfica las diferentes estructuras de estudio. Son esenciales para la materialización del proyecto y, en su realización, se procurará que sean completos, suficientes y concisos para facilitar su comprensión.

#### **2.2.5. Pliego de condiciones**

El pliego de condiciones es un documento que consta de una descripción de las regulaciones y condiciones facultativas, económicas, administrativas, legales y técnicas que son de aplicación al presente proyecto y a los agentes implicados en el mismo.

## **2.3. Materiales y ejecución**

En el presente apartado se establecen las diferentes condiciones que afectan a los materiales utilizados en el presente proyecto así como la normativa que aplica a los mismos.

### **2.3.1. Hormigón en masa**

#### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Hormigón HA-25/B/20/I fabricado en central y vertido desde camión, para formación de zapata y vigas de armado.

#### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Elaboración, transporte y puesta en obra del hormigón:

- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).

Ejecución:

- CTE. DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos.
- NTE-CSZ. Cimentaciones superficiales: Zapatas.

#### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Volumen teórico, según documentación gráfica del Proyecto.

#### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

- FASES DE EJECUCIÓN.

Vertido y compactación del hormigón. Curado del hormigón.

- CONDICIONES DE TERMINACIÓN.

El conjunto será monolítico y transmitirá correctamente las cargas al terreno.

#### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones del Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.

### **2.3.2. Acero para armaduras**

#### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Acero UNE-EN 10080 B 500 S para elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y montaje en viga entre zapatas. Incluso alambre de atar y separadores.

#### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Montaje:

- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).

#### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Peso teórico calculado según documentación gráfica del Proyecto.

#### **FASES DE EJECUCIÓN**

Corte y doblado de la armadura. Montaje y colocación de la armadura con separadores homologados. Sujeción de la armadura.

#### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se calculará el peso teórico de la armadura ejecutada según especificaciones del Proyecto.

### **2.3.3. Acero en correas metálicas**

#### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Acero UNE-EN 10162 S235JRC, en correas metálicas formadas por piezas simples de perfiles conformados en frío de las series omega, L, U, C o Z, acabado galvanizado, fijadas a las cerchas con uniones soldadas en obra.

#### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución:

- CTE. DB-SE-A Seguridad estructural: Acero.
- UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.
- Instrucción de Acero Estructural (EAE).

#### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Peso nominal medido según documentación gráfica del Proyecto.

#### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

- FASES DE EJECUCIÓN  
Replanteo de las correas sobre las cerchas. Presentación de las correas sobre las cerchas.  
Aplomado y nivelación definitivos. Ejecución de las uniones soldadas.
- CONDICIONES DE TERMINACIÓN  
Las cargas se transmitirán correctamente a la estructura.

#### **CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Se evitará la actuación sobre el elemento de acciones mecánicas no previstas en el cálculo.

#### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO**

Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones del Proyecto.

### **CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA**

El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje, pero no incluye la chapa o panel que actuará como cubierta.

### **2.3.4. Acero en pilares y vigas**

#### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Acero UNE-EN 10025 S275JR, en pilares o vigas formados por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante, colocado con uniones soldadas en obra.

Acero UNE-EN 10210-1 S275J0H, en vigas formadas por piezas simples de perfiles huecos acabados en caliente de las series redondo, cuadrado o rectangular, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra.

#### **NORMATIVA DE APLICACIÓN**

Ejecución:

- CTE. DB-SE-A Seguridad estructural: Acero.
- UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.
- Instrucción de Acero Estructural (EAE).
- NTE-EAS. Estructuras de acero: Soportes.

#### **CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO**

Peso nominal medido según documentación gráfica del Proyecto.

#### **PROCESO DE EJECUCIÓN**

- FASES DE EJECUCIÓN.  
Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional del pilar. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones soldadas.
- CONDICIONES DE TERMINACIÓN.  
Las cargas se transmitirán correctamente a la estructura. El acabado superficial será el adecuado para el posterior tratamiento de protección.

### **CRITERIO DE VALORACIÓN ECONÓMICA**

El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, las placas de arranque y de transición de pilar inferior a superior, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.



# **MEDICIONES Y PRESUPUESTO**



# Índice

1. Mediciones nave empotrada .....	148
2. Mediciones nave articulada .....	150
3. Generador de precios .....	152
3.1. Acero armado cimentación.....	152
3.2. Acero vigas de atado .....	153
3.3. Correas .....	154
3.4. Hormigón de limpieza.....	156
3.5. Hormigón de vigas de atado.....	157
3.6. Hormigón zapatas.....	158
3.7. Panel sándwich.....	159
3.8. Precio pilares IPE .....	160
3.9. Vigas IPE.....	162
3.10. Vigas redondo.....	164
3.11. Desbroce y limpieza del terreno .....	166
3.12. Excavación.....	166
3.13. Placas de anclaje nave empotrada .....	167
3.14. Placas de anclaje nave articulada.....	170
4. Presupuesto nave empotrada .....	172
5. Presupuesto nave articulada.....	174
6. Comparativa presupuesto .....	176

## 1. Mediciones nave empotrada

*Tabla 1. Mediciones nave empotrada.*

ELEMENTO	Tipo perfil	Material	Uds.	Medición
Cerramiento de fachada	Panel sándwich		m <sup>2</sup>	476,7
Cerramiento de cubierta	Panel sándwich		m <sup>2</sup>	906,48
Correas de cubierta	CF-200x2.0	S275	kg	4.691,52
Correas laterales	CF-200x2.0	S275	kg	1.172,88
Pilares pórtico interior	IPE 220	S275	kg	1.573,14
Jácenas pórtico interior	#90x5	S275	kg	3.166,53
Pilares de fachada	IPE 270	S275	kg	2.853,69
Jácenas de fachada	IPE 100	S275	kg	407,18
Montantes VCV	#90x3	S275	kg	1.426,73
Diagonales VCV	L 50x50x4	S275	kg	924,40
Viga perimetral	#90x3	S275	kg	380,46
Arriostramientos de fachada lateral CSA	L 60x60x5	S275	kg	601,31
Diagonales y montantes celosía	#80x4	S275	kg	2.503,68
Acero placas de anclaje	S275		kg	250,63
Acero para pernos	B500 S		kg	58,82
Acero armado cimentación	B500 S		kg	1.965,62
Hormigón cimentación	HA-25		m <sup>3</sup>	59,43
Acero vigas de atado	B500 S		kg	676,82
Hormigón vigas de atado	HA-25		m <sup>3</sup>	13,04
Hormigón de limpieza	Hormigón de limpieza		m <sup>3</sup>	11,91

*Tabla 2. Resumen mediciones nave empotrada.*

TIPO MATERIAL	Uds.	Medición
Acero S275	kg	19.952,15
Acero B500S	kg	2.701,26
Panel sándwich	m <sup>2</sup>	1.383,18
Hormigón HA-25	m <sup>3</sup>	72,47
Hormigón limpieza	m <sup>3</sup>	11,91

\*Consultar Anexo 2 para cálculo de mediciones de Montantes VCV, Correas cubierta y Correas laterales.

## 2. Mediciones nave articulada

*Tabla 3. Mediciones nave articulada.*

ELEMENTO	Tipo perfil	Material	Uds.	Medición
Cerramiento de fachada	Panel sándwich		m <sup>2</sup>	476,7
Cerramiento de cubierta	Panel sándwich		m <sup>2</sup>	906,48
Correas de cubierta	CF-200x2.0	S275	kg	4.691,52
Correas laterales	CF-200x2.0	S275	kg	1.172,88
Pilares pórtico interior	IPE 240	S275	kg	1.841,61
Jácnas pórtico interior	#90x5	S275	kg	3.166,53
Pilares de fachada	IPE 450	S275	kg	6.142,59
Jácnas de fachada	IPE 100	S275	kg	407,18
Montantes VCV	#90x3	S275	kg	1.426,73
Diagonales VCV	L 50x50x4	S275	kg	924,40
Viga perimetral	#90x3	S275	kg	380,46
Arriostramientos de fachada lateral CSA	L 60x60x5	S275	kg	601,31
Diagonales y montantes celosía	#80x4	S275	kg	2.503,68
Acero placas de anclaje	S275		kg	501,14
Acero para pernos	B500 S		kg	82,2
Acero armado cimentación	B500 S		kg	1.424,84
Hormigón cimentación	HA-25		m <sup>3</sup>	43,59
Acero vigas de atado	B500 S		kg	676,82
Hormigón vigas de atado	HA-25		m <sup>3</sup>	12,74
Hormigón de limpieza	Hormigón de limpieza		m <sup>3</sup>	10,05

*Tabla 4. Resumen mediciones nave articulada*

<b>TIPO MATERIAL</b>	<b>Uds.</b>	<b>Medición</b>
Acero S275	kg	23.760,03
Acero B500S	kg	2.183,86
Panel sándwich	m <sup>2</sup>	1.383,18
Hormigón HA-25	m <sup>3</sup>	56,33
Hormigón limpieza	m <sup>3</sup>	10,05

\*Consultar Anexo 2 para cálculo de mediciones de Montantes VCV, Correas cubierta y Correas laterales.

### 3. Generador de precios

#### 3.1. Acero armado cimentación

<b>CHA010 kg Acero para hormigón.</b>					
Acero UNE-EN 10080 B 500 S para elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y montaje en zapata de cimentación. Incluso alambre de atar y separadores.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt07sep010a	Ud	Separador homologado de plástico, para armaduras de cimentaciones de varios diámetros.	0.160	0.16	0.03
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	1.000	1.60	1.60
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0.004	1.50	0.01
			Subtotal materiales:		<b>1.64</b>
2		Mano de obra			
mo043	h	Oficial 1ª ferrallista.	0.002	22.27	0.04
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0.003	21.15	0.06
			Subtotal mano de obra:		<b>0.10</b>
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	1.74	0.03
Coste de mantenimiento decenal: 0,04€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos</b>		1.77
					(1+2+3):

### 3.2. Acero vigas de atado

<b>CHA010 kg Acero para hormigón.</b>					
Acero UNE-EN 10080 B 500 S para elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y montaje en viga entre zapatas. Incluso alambre de atar y separadores.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt07sep010a	Ud	Separador homologado de plástico, para armaduras de cimentaciones de varios diámetros.	0.170	0.16	0.03
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	1.000	1.60	1.60
mt08var050	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0.008	1.50	0.01
			<b>Subtotal materiales:</b>		<b>1.64</b>
2		Mano de obra			
mo043	h	Oficial 1ª ferrallista.	0.004	22.27	0.09
mo090	h	Ayudante ferrallista.	0.004	21.15	0.08
			<b>Subtotal mano de obra:</b>		<b>0.17</b>
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	1.81	0.04
Coste de mantenimiento decenal: 0,04€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3):</b>		<b>1.85</b>

### 3.3. Correas

<b>EAT030 kg Acero en correas metálicas.</b>					
Acero UNE-EN 10025 S275JR, en correas metálicas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante, fijadas a las cerchas con uniones soldadas en obra. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje, pero no incluye la chapa o panel que actuará como cubierta.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 mt07ala245a	kg	Materiales Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para correa formada por pieza simple, de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM y UPN, acabado con imprimación antioxidante, trabajado en taller, para colocar en obra mediante soldadura.	1.000	1.29	1.29
Subtotal materiales:					<b>1.29</b>
2 mq08sol010	h	Equipo y maquinaria Equipo de oxicorte, con acetileno como combustible y oxígeno como comburente.	0.035	8.25	0.29
Subtotal equipo y maquinaria:					<b>0.29</b>
3 mo047	h	Mano de obra Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0.035	22.27	0.78
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0.020	21.15	0.42
Subtotal mano de obra:					<b>1.20</b>
4	%	Costes directos complementarios Costes directos complementarios	2.000	2.78	0.06
Coste de mantenimiento decenal: 0,14€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>		<b>2.84</b>

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	192005	192006	2+
<p>(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia            (b) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor mercado CE            (c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones</p>			

### 3.4. Hormigón de limpieza

<b>CHH005 m<sup>3</sup> Hormigón de limpieza.</b>					
Hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, para formación de capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, en el fondo de la excavación previamente realizada.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt10hmf011fb	m <sup>3</sup>	Hormigón de limpieza HL-150/B/20, fabricado en central.	1.050	66.00	69.30
				Subtotal materiales:	<b>69.30</b>
2		Mano de obra			
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0.075	22.27	1.67
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0.150	21.15	3.17
				Subtotal mano de obra:	<b>4.84</b>
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	74.14	1.48
Coste de mantenimiento decenal: 1,51€ en los primeros 10 años.				<b>Costes directos</b>	75.62
				(1+2+3):	

### 3.5. Hormigón de vigas de atado

<b>CHH045 m Hormigón para armar en vigas entre zapatas.</b>					
<b>3</b>					
Hormigón para armar en vigas entre zapatas, HA-25/F/20/XC2, fabricado en central, y vertido desde camión.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt10haf010ctLc	m <sup>3</sup>	Hormigón HA-25/F/20/XC2, fabricado en central.	1.050	80.88	84.92
Subtotal materiales:					<b>84.92</b>
2		Mano de obra			
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0.070	22.27	1.56
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0.280	21.15	5.92
Subtotal mano de obra:					<b>7.48</b>
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	92.40	1.85
Coste de mantenimiento decenal: 2,83€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos</b>		94.25
					(1+2+3):

### 3.6. Hormigón zapatas

<b>CHH035 m Hormigón para armar en zapatas.</b>					
<b>3</b>					
Hormigón para armar en zapatas de cimentación, HA-25/F/20/XC2, fabricado en central, y vertido desde camión.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt10haf010ctLc	m <sup>3</sup>	Hormigón HA-25/F/20/XC2, fabricado en central.	1.100	80.88	88.97
			Subtotal materiales:		<b>88.97</b>
2		Mano de obra			
mo045	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0.050	22.27	1.11
mo092	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0.300	21.15	6.35
			Subtotal mano de obra:		<b>7.46</b>
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	96.43	1.93
Coste de mantenimiento decenal: 2,95€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos</b>		<b>98.36</b>
			(1+2+3):		

### 3.7. Panel sándwich

<b>EAN010 m<sup>2</sup> Panel sándwich para forjado, sobre estructura de acero.</b>					
<p>Panel sándwich machihembrado en las cuatro caras, compuesto de: cara exterior de placa de yeso reforzado con fibras, de 12 mm de espesor, núcleo aislante de espuma de poliestireno extruido de 40 mm de espesor y cara interior de placa de yeso reforzado con fibras, de 12 mm de espesor, de 2400x550 mm, transmitancia térmica 0,774 W/(m<sup>2</sup>K), Euroclase B-s1, d0 de reacción al fuego, según UNE-EN 13501-1, fijado con tornillos autotaladrantes de cabeza avellanada, de acero al carbono, sobre estructura de acero de perfiles con alas de hasta 6 mm de espesor, con una luz entre apoyos de 40 cm, para forjado. El precio no incluye el pavimento.</p>					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt13pst040h	m <sup>2</sup>	Panel sándwich machihembrado en las cuatro caras, compuesto de: cara exterior de placa de yeso reforzado con fibras, de 12 mm de espesor, núcleo aislante de espuma de poliestireno extruido de 40 mm de espesor y cara interior de placa de yeso reforzado con fibras, de 12 mm de espesor, de 2400x550 mm, transmitancia térmica 0,774 W/(m <sup>2</sup> K), Euroclase B-s1, d0 de reacción al fuego, según UNE-EN 13501-1.	1.050	46.06	48.36
mt13pst130d	Ud	Tornillo autotaladrante de cabeza avellanada, de acero al carbono, de 6,3 mm de diámetro y 100 mm de longitud.	16.000	0.40	6.40
Subtotal materiales:					<b>54.76</b>
2		Mano de obra			
mo054	h	Oficial 1 <sup>a</sup> montador de aislamientos.	0.200	22.00	4.40
mo101	h	Ayudante montador de aislamientos.	0.200	20.34	4.07
Subtotal mano de obra:					<b>8.47</b>
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	63.23	1.26
<b>Costes directos</b>					<b>64.49</b>
(1+2+3):					

### 3.8. Precio pilares IPE

<b>EAS010 kg Acero en pilares.</b>						
Acero UNE-EN 10025 S275JR, en pilares formados por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante, colocado con uniones soldadas en obra, a una altura de más de 3 m. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, las placas de arranque y de transición de pilar inferior a superior, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt07ala010dab	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1.000	1.44	1.44	
					<b>Subtotal materiales: 1.44</b>	
2		Equipo y maquinaria				
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0.015	3.42	0.05	
					<b>Subtotal equipo y maquinaria: 0.05</b>	
3		Mano de obra				
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0.016	22.27	0.36	
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0.016	21.15	0.34	
					<b>Subtotal mano de obra: 0.70</b>	
4		Costes directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios	2.000	2.19	0.04	
Coste de mantenimiento decenal: 0,07€ en los primeros 10 años.					<b>Costes directos (1+2+3+4): 2.23</b>	
Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada			Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)	
UNE-EN 10025-1:2006			192005	192006	2+	

Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.			
--	--	--	--

- |  |
|--|
| (a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia<br>(b) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor mercado CE<br>(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones |
|--|

### 3.9. Vigas IPE

<b>EAV010 kg Acero en vigas.</b>					
Acero UNE-EN 10025 S275JR, en vigas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra, a una altura de más de 3 m. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt07ala010dc b	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1.000	1.55	1.55
Subtotal materiales:					<b>1.55</b>
2		Equipo y maquinaria			
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0.018	3.42	0.06
Subtotal equipo y maquinaria:					<b>0.06</b>
3		Mano de obra			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0.019	22.27	0.42
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0.011	21.15	0.23
Subtotal mano de obra:					<b>0.65</b>
4		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	2.26	0.05
Coste de mantenimiento decenal: 0,07€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>		2.31
Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada			Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)

<p>UNE-EN 10025-1:2006          Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.</p>	<p>192005</p>	<p>192006</p>	<p>2+</p>
<p>(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia</p> <p>(b) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE</p> <p>(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones</p>			

### 3.10. Vigas redondo

<b>EAV010 kg Acero en vigas.</b>					
Acero UNE-EN 10025 S275JR, en vigas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra, a una altura de más de 3 m. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt07ala010d cb	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1.000	1.55	1.55
Subtotal materiales:					<b>1.55</b>
2		Equipo y maquinaria			
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0.018	3.42	0.06
Subtotal equipo y maquinaria:					<b>0.06</b>
3		Mano de obra			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0.019	22.27	0.42
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0.011	21.15	0.23
Subtotal mano de obra:					<b>0.65</b>
4		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	2.26	0.05
Coste de mantenimiento decenal: 0,07€ en los primeros 10 años.					2.31
<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>					<b>2.31</b>
Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada			Aplicabilidad (a)	Obligatoriedad (b)	Sistema(c)
UNE-EN 10025-1:2006			192005	192006	2+

Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.	
--	--

(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia

(b) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE

(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones

### 3.11. Desbroce y limpieza del terreno

<b>ADL005 m<sup>2</sup> Desbroce y limpieza del terreno.</b>					
Desbroce y limpieza del terreno de topografía con desniveles mínimos, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión. El precio no incluye la tala de árboles ni el transporte de los materiales retirados.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Equipo y maquinaria			
mq01pan010a	h	Pala cargadora sobre neumáticos de 120 kW/1,9 m <sup>3</sup> .	0.021	45.06	0.95
Subtotal equipo y maquinaria:					<b>0.95</b>
2		Mano de obra			
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0.008	20.10	0.16
Subtotal mano de obra:					<b>0.16</b>
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	1.11	0.02
<b>Costes directos (1+2+3):</b>					<b>1.13</b>

### 3.12. Excavación

<b>ADE001 m<sup>3</sup> Excavación a cielo abierto, con medios manuales.</b>					
Excavación a cielo abierto, en suelo de arcilla semidura, con medios manuales, y carga manual a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Mano de obra			
mo113	h	Peón ordinario construcción.	1.688	20.10	33.93
Subtotal mano de obra:					<b>33.93</b>
2		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	33.93	0.68
<b>Costes directos (1+2):</b>					<b>34.61</b>

### 3.13. Placas de anclaje nave empotrada

TIPO 1

EAS005 Ud Placa de anclaje de acero, con pernos soldados.					
Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con taladro central biselado, de 250x400 mm y espesor 15 mm, con 4 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 16 mm de diámetro y 45 cm de longitud total. El precio incluye los cortes, los despuntes, la preparación de bordes, las pletinas, las piezas especiales y los elementos auxiliares de montaje.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt07ala011k	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales. Trabajada y montada en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	11.775	2.69	31.67
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	2.840	1.60	4.54
Subtotal materiales:					<b>36.21</b>
2		Equipo y maquinaria			
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0.015	3.42	0.05
Subtotal equipo y maquinaria:					<b>0.05</b>
3		Mano de obra			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0.391	22.27	8.71
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0.391	21.15	8.27
Subtotal mano de obra:					<b>16.98</b>
4	%	Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	53.24	1.06
Coste de mantenimiento decenal: 1,63€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>		<b>54.30</b>
Referencia y título de la norma			Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)
EN 10025-1:2004 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.			192005	192006	2+
(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada					
(b) Fecha en que finaliza el período de coexistencia					
(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones					

TIPO 2

<b>EAS005 Ud Placa de anclaje de acero, con pernos soldados.</b>						
Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con rigidizadores y taladro central biselado, de 250x400 mm y espesor 15 mm, con 4 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 16 mm de diámetro y 35 cm de longitud total. El precio incluye los cortes, los despuntes, la preparación de bordes, las pletinas, las piezas especiales y los elementos auxiliares de montaje.						
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1		Materiales				
mt07ala011k	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales. Trabajada y montada en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	11.955	2.69		32.16
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	2.209	1.60		3.53
Subtotal materiales:						<b>35.69</b>
2		Equipo y maquinaria				
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0.020	3.42		0.07
Subtotal equipo y maquinaria:						<b>0.07</b>
3		Mano de obra				
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0.396	22.27		8.82
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0.396	21.15		8.38
Subtotal mano de obra:						<b>17.20</b>
4	%	Costes directos complementarios	2.000	52.96		1.06
Coste de mantenimiento decenal: 1,62€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>			<b>54.02</b>
Referencia y título de la norma			Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)	
EN 10025-1:2004 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.			192005	192006	2+	
(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada						
(b) Fecha en que finaliza el período de coexistencia						
(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones						

TIPO 3

<b>EAS005 Ud Placa de anclaje de acero, con pernos soldados.</b>					
Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con rigidizadores y taladro central biselado, de 250x350 mm y espesor 15 mm, con 4 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 16 mm de diámetro y 35 cm de longitud total. El precio incluye los cortes, los despuntes, la preparación de bordes, las pletinas, las piezas especiales y los elementos auxiliares de montaje.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt07ala011k	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales. Trabajada y montada en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	10.473	2.69	28.17
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	2.209	1.60	3.53
Subtotal materiales:					<b>31.70</b>
2		Equipo y maquinaria			
m08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0.020	3.42	0.07
Subtotal equipo y maquinaria:					<b>0.07</b>
3		Mano de obra			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0.373	22.27	8.31
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0.373	21.15	7.89
Subtotal mano de obra:					<b>16.20</b>
4		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	47.97	0.96
Coste de mantenimiento decenal: 1,47€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>		<b>48.93</b>
Referencia y título de la norma			Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)
EN 10025-1:2004 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.			192005	192006	2+
(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada					
(b) Fecha en que finaliza el período de coexistencia					
(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones					

### 3.14. Placas de anclaje nave articulada

TIPO 1 Y 3

<b>EAS005 Ud Placa de anclaje de acero, con pernos soldados.</b>					
Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con taladro central biselado, de 350x600 mm y espesor 20 mm, con 4 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 20 mm de diámetro y 30 cm de longitud total. El precio incluye los cortes, los despuntes, la preparación de bordes, las pletinas, las piezas especiales y los elementos auxiliares de montaje.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		<b>Materiales</b>			
mt07ala011k	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales. Trabajada y montada en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	32.970	2.69	88.69
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	2.958	1.60	4.73
Subtotal materiales:					<b>93.42</b>
2		<b>Equipo y maquinaria</b>			
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0.015	3.42	0.05
Subtotal equipo y maquinaria:					<b>0.05</b>
3		<b>Mano de obra</b>			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0.709	22.27	15.79
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0.709	21.15	15.00
Subtotal mano de obra:					<b>30.79</b>
4	%	Costes directos complementarios	2.000	124.26	2.49
Coste de mantenimiento decenal: 3,80€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>		<b>126.75</b>
Referencia y título de la norma			Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)
EN 10025-1:2004 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.			192005	192006	2+
(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada					
(b) Fecha en que finaliza el período de coexistencia					
(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones					

TIPO 2

<b>EAS005 Ud Placa de anclaje de acero, con pernos soldados.</b>					
Placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275JR en perfil plano, con taladro central biselado, de 200x350 mm y espesor 12 mm, con 4 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 12 mm de diámetro y 30 cm de longitud total. El precio incluye los cortes, los despuntes, la preparación de bordes, las pletinas, las piezas especiales y los elementos auxiliares de montaje.					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1		Materiales			
mt07ala011k	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales. Trabajada y montada en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	6.594	2.69	17.74
mt07aco010c	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	1.065	1.60	1.70
Subtotal materiales:					<b>19.44</b>
2		Equipo y maquinaria			
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0.015	3.42	0.05
Subtotal equipo y maquinaria:					<b>0.05</b>
3		Mano de obra			
mo047	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0.304	22.27	6.77
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0.304	21.15	6.43
Subtotal mano de obra:					<b>13.20</b>
4		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	32.69	0.65
Coste de mantenimiento decenal: 1,00€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>		<b>33.34</b>
Referencia y título de la norma			Aplicabilidad(a)	Obligatoriedad(b)	Sistema(c)
EN 10025-1:2004 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1: Condiciones generales de suministro.			192005	192006	2+
(a) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada					
(b) Fecha en que finaliza el período de coexistencia					
(c) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones					

## 4. Presupuesto nave empotrada

*Tabla 5. Presupuesto nave empotrada.*

CAPÍTULOS		GENERADOR PRECIOS CYPE			Empotrada		
Cerramiento de fachada	Panel sándwich	Panel sándwich	64,49	€/m <sup>2</sup>	476,70	m <sup>2</sup>	30.742,38 €
Cerramiento de cubierta	Panel sándwich	Panel sándwich	64,49	€/m <sup>2</sup>	906,48	m <sup>2</sup>	58.458,90 €
Correas de cubierta	CF-200x2.0	Correas	2,84	€/kg	4.691,52	kg	13.323,92 €
Correas laterales	CF-200x2.0	Correas	2,84	€/kg	1.172,88	kg	3.330,98 €
Pilares pórtico interior	IPE 220	Pilares IPE	2,23	€/kg	1.573,14	kg	3.508,10 €
Jácnas pórtico interior	#90x5	Viga redondo / L	2,31	€/kg	3.166,53	kg	7.314,68 €
Pilares de fachada	IPE 270	Pilares IPE	2,23	€/kg	2.853,69	kg	6.363,73 €
Jácnas de fachada	IPE 100	Viga IPE	2,19	€/kg	407,18	kg	891,72 €
Montantes VCV	#90x3	Viga redondo / L	2,31	€/kg	1.426,73	kg	3.295,73 €
Diagonales VCV	L 50x50x4	Viga redondo / L	2,31	€/kg	924,40	kg	2.135,36 €
Viga perimetral	#90x3	Viga redondo / L	2,31	€/kg	380,46	kg	878,86 €
Arriostramientos de fachada lateral CSA	L 60x60x5	Viga redondo / L	2,31	€/kg	601,31	kg	1.389,03 €
Diagonales y montantes celosía	#80x4	Viga redondo / L	2,31	€/kg	2.503,68	kg	5.783,50 €
Placas de anclaje Tipo 1		Placa de anclaje de acero con pernos soldados	54,30	€/u	4,00	u	217,20 €
Placas de anclaje Tipo 2		Placa de anclaje de acero con pernos soldados	54,02	€/u	8,00	u	432,16 €
Placas de anclaje Tipo 3		Placa de anclaje de acero con pernos soldados	48,93	€/u	10,00	u	489,30 €
Acero armado cimentación	B500 S	Acero armado cimentación	1,64	€/kg	1.965,62	kg	3.223,62 €
Hormigón cimentación	HA-25	Hormigón zapatas	98,36	€/m <sup>3</sup>	59,43	m <sup>3</sup>	5.845,53 €
Acero vigas de atado	B500 S	Acero vigas de atado	1,85	€/kg	676,82	kg	1.252,12 €
Hormigón vigas de atado	HA-25	Hormigón vigas de atado	94,25	€/m <sup>3</sup>	13,04	m <sup>3</sup>	1.229,02 €
Hormigón de limpieza		Hormigón limpieza	75,62	€/m <sup>3</sup>	11,91	m <sup>3</sup>	900,63 €
Movimiento de tierras		Movimiento de	1,13	€/m <sup>2</sup>	900,00	m <sup>2</sup>	1.017,00 €
Excavación		Excavación	34,61	€/m <sup>3</sup>	72,47	m <sup>3</sup>	2.508,19 €

<b>PEM (Presupuesto de Ejecución del Material) = <math>\Sigma</math> Capítulos</b>	<b>154.531,67 €</b>
Gastos Generales (18% del PEM)	27.815,70 €
Beneficio Industrial (6% del PEM)	9.271,90 €
<b>PEC (Presupuesto de Ejecución por Contrata)</b>	<b>191.619,27 €</b>
Honorarios Proyecto (3% del PEC)	5.748,58 €
Honorarios Proyectista ( 4% del PEC)	7.664,77 €
<b>TOTAL</b>	<b>205.032,62 €</b>
IVA (21%)	43.056,85 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>248.089,47 €</b>

El presupuesto total de la nave empotrada asciende a DOSCIENTOS CUARENTA Y OCHO MIL OCHENTA Y NUEVE EUROS CON CUARENTA Y SIETE CÉNTIMOS.

## 5. Presupuesto nave articulada

*Tabla 6. Presupuesto nave articulada.*

CAPÍTULOS		GENERADOR PRECIOS CYPE			Articulada		
Cerramiento de fachada	Panel sándwich	Panel sándwich	64,49	€/m <sup>2</sup>	476,70	m <sup>2</sup>	30.742,38 €
Cerramiento de cubierta	Panel sándwich	Panel sándwich	64,49	€/m <sup>2</sup>	906,48	m <sup>2</sup>	58.458,90 €
Correas de cubierta	CF-200x2.0	Correas	2,84	€/kg	4.691,52	kg	13.323,92 €
Correas laterales	CF-200x2.0	Correas	2,84	€/kg	1.172,88	kg	3.330,98 €
Pilares pórtico interior	IPE 220	Pilares IPE	2,23	€/kg	1.841,61	kg	4.106,79 €
Jácenas pórtico interior	#90x5	Viga redondo / L	2,31	€/kg	3.166,53	kg	7.314,68 €
Pilares de fachada	IPE 270	Pilares IPE	2,23	€/kg	6.142,59	kg	13.697,98 €
Jácenas de fachada	IPE 100	Viga IPE	2,19	€/kg	407,18	kg	891,72 €
Montantes VCV	#90x3	Viga redondo / L	2,31	€/kg	1.426,73	kg	3.295,73 €
Diagonales VCV	L 50x50x4	Viga redondo / L	2,31	€/kg	924,40	kg	2.135,36 €
Viga perimetral	#90x3	Viga redondo / L	2,31	€/kg	380,46	kg	878,86 €
Arriostramientos de fachada lateral CSA	L 60x60x5	Viga redondo / L	2,31	€/kg	601,31	kg	1.389,03 €
Diagonales y montantes celosía	#80x4	Viga redondo / L	2,31	€/kg	2.503,68	kg	5.783,50 €
Placas de anclaje Tipo 1		Placa de anclaje de acero con pernos soldados	126,75	€/u	4,00	u	507,00 €
Placas de anclaje Tipo 2		Placa de anclaje de acero con pernos soldados	33,34	€/u	10,00	u	333,40 €
Placas de anclaje Tipo 3		Placa de anclaje de acero con pernos soldados	126,75	€/u	8,00	u	1.014,00 €
Acero armado cimentación	B500 S	Acero armado cimentación	1,64	€/kg	1.424,84	kg	2.336,74 €
Hormigón cimentación	HA-25	Hormigón zapatas	98,36	€/m <sup>3</sup>	43,59	m <sup>3</sup>	4.287,51 €
Acero vigas de atado	B500 S	Acero vigas de atado	1,85	€/kg	676,82	kg	1.252,12 €
Hormigón vigas de atado	HA-25	Hormigón vigas de atado	94,25	€/m <sup>3</sup>	12,74	m <sup>3</sup>	1.200,75 €
Hormigón de limpieza		Hormigón limpieza	75,62	€/m <sup>3</sup>	10,05	m <sup>3</sup>	759,98 €
Movimiento de tierras		Movimiento de	1,13	€/m <sup>2</sup>	900,00	m <sup>2</sup>	1.017,00 €
Excavación		Excavación	34,61	€/m <sup>3</sup>	56,33	m <sup>3</sup>	1.949,58 €

<b>PEM (Presupuesto de Ejecución del Material) = <math>\Sigma</math> Capítulos</b>	<b>160.007,91 €</b>
Gastos Generales (18% del PEM)	28.801,42 €
Beneficio Industrial (6% del PEM)	9.600,47 €
<b>PEC (Presupuesto de Ejecución por Contrata)</b>	<b>198.409,81 €</b>
Honorarios Proyecto (3% del PEC)	5.952,29 €
Honorarios Proyectista ( 4% del PEC)	7.936,39 €
<b>TOTAL</b>	<b>212.298,50 €</b>
IVA (21%)	44.582,68 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>256.881,18 €</b>

El presupuesto total de la nave articulada asciende a DOSCIENTOS CINCUENTA Y SEIS MIL OCHOCIENTOS OCHENTA Y UN EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS.

## 6. Comparativa presupuesto

La diferencia entre el presupuesto de la nave empotrada y la articulada se muestra en la *Tabla 7*.

*Tabla 7. Comparativa de presupuestos.*

<b>Nave empotrada</b>	<b>Nave articulada</b>
<b>248.089,47 €</b>	<b>256.881,18 €</b>

La nave empotrada cuesta 8.791,71€ menos que la nave articulada.



# **IMPACTO MEDIOAMBIENTAL**



# Índice

1. Consideraciones para cálculo de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	181
2. Emisiones CO <sub>2</sub> nave empotrada .....	184
3. Emisiones CO <sub>2</sub> nave articulada .....	185
4. Emisiones totales de CO <sub>2</sub> .....	186

## 1. Consideraciones para cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub>

Es muy importante entender por qué se destaca el impacto medioambiental en las naves industriales. El acero y el hormigón son unos de los principales materiales que se utilizan en todos los ámbitos a nivel mundial. El cemento, uno de los componentes del hormigón, es el segundo elemento más consumido en el mundo, siendo el primero el agua.

Estos materiales tienen altas emisiones de CO<sub>2</sub> debido a su fabricación. Para producir acero, cemento y hormigón se necesitan elevadas cantidades de energía, necesitándose un calor de manera continua a altas temperaturas. Esta energía se suele generar a través de combustibles fósiles, y, además, se emplean químicos para el proceso de fabricación que también generan altas emisiones.

El CO<sub>2</sub> es el principal gas de efecto invernadero emitido por el ser humano a causa de las actividades que desarrolla.

En la *Figura 1* se puede observar que en el año 2014 el acero y el cemento están en el top 3 de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por industria. El acero producido en un año genera sobre el 8% del total de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>. El cemento representa el 6% de estas emisiones.

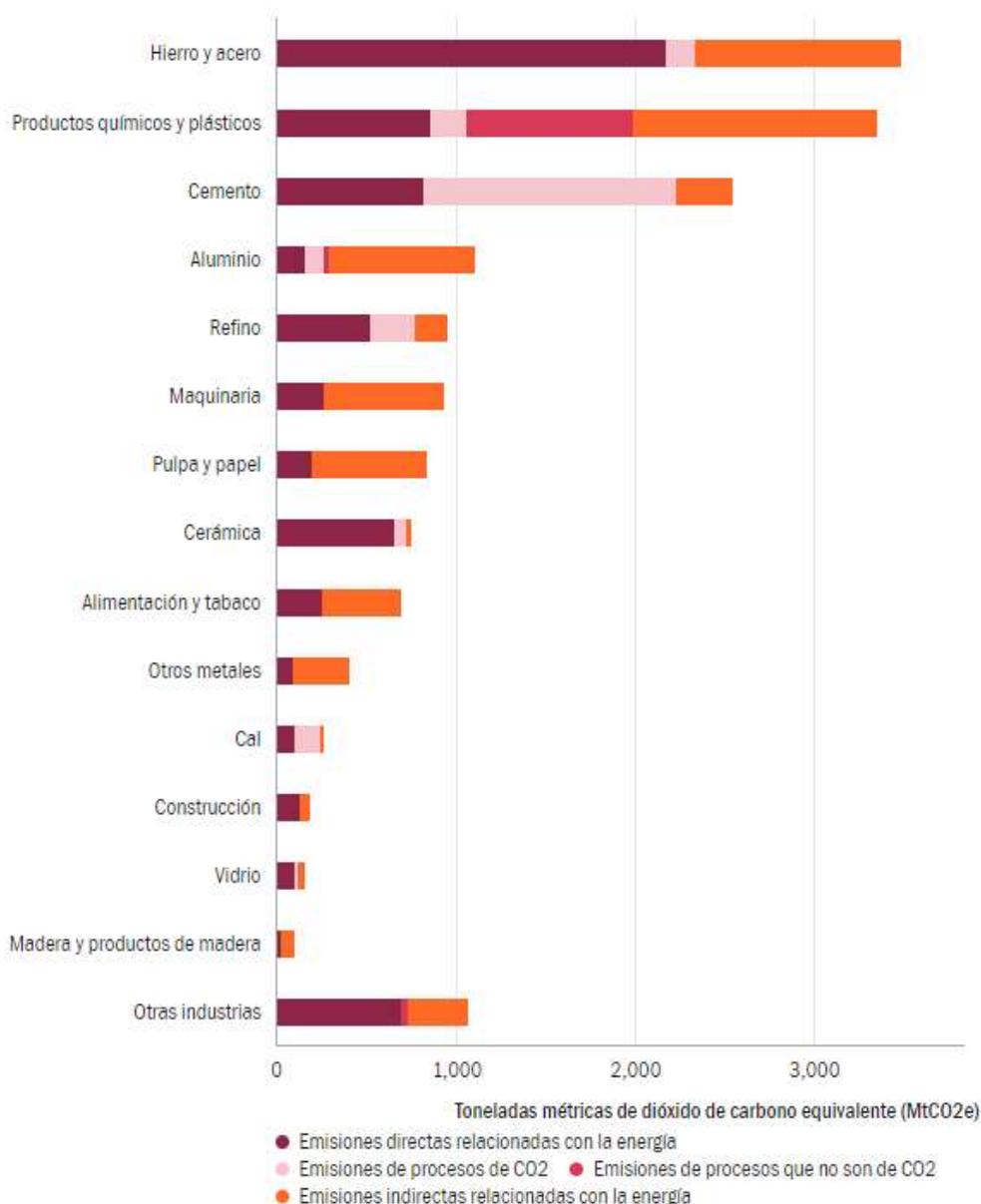


Figura 1. Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por industria (2014).

Para conocer las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas por cada nave, se deben consultar una serie de documentación. Para el acero se deben consultar las **Declaraciones Ambientales de Producto** creadas por ISO 14025 y EN 15804. Son “**Structural Hollow Section**”, “**Reinforcing steel in bars**” y “**Structural Steel sections and merchant bars**”. Para el hormigón se debe consultar la **Declaración Ambiental de Producto “CEM-II-IECA003-002-AMP”**.

De las declaraciones de acero se obtienen los kg de CO<sub>2</sub> emitidos por tonelada de acero y así poder calcular las emisiones de la nave. De la declaración del cemento se obtienen los kg de CO<sub>2</sub> emitidos por tonelada de cemento.

Cada declaración va dirigida a ciertos componentes de la nave, quedando la clasificación mostrada en la *Tabla 1*.

*Tabla 1. Clasificación de elementos según su Declaración.*

<b>Structural steel sections (IPE- Pilares)</b>
Pilares pórtico interior
Pilares de fachada
Jácnas de fachada
<b>Hollow structural sections (tubos - VCV, celosía)</b>
Correas de cubierta
Correas laterales
Jácnas pórtico interior
Montantes VCV
Diagonales VCV
Viga perimetral
Arriostramientos de fachada lateral CSA
Diagonales y montantes celosía
<b>Rebar (zapatas y vigas cimentación - acero del hormigón)</b>
Acero placas de anclaje
Acero para pernos
Acero armado cimentación
Acero vigas de atado
<b>CEM-II-IECA003-002-AMP</b>
Hormigón cimentación
Hormigón vigas de atado
Hormigón de limpieza

## 2. Emisiones CO<sub>2</sub> nave empotrada

*Tabla 2. Emisiones CO<sub>2</sub> por acero nave empotrada.*

<b>ACERO</b>		
<b>Structural steel sections (IPE- Pilares)</b>		
Toneladas acero	kgCO <sub>2</sub> /ton acero	kgCO <sub>2</sub>
4,83	842,00	4.070,24
<b>Hollow structural sections (tubos - VCV, celosía)</b>		
Toneladas acero	kgCO <sub>2</sub> /ton acero	kgCO <sub>2</sub>
14,87	2.270,00	33.749,24
<b>Rebar (zapatas y vigas cimentación - acero del hormigón)</b>		
Toneladas acero	kgCO <sub>2</sub> /ton acero	kgCO <sub>2</sub>
2,95	1.200,00	3.542,27

*Tabla 3. Emisiones CO<sub>2</sub> por hormigón nave empotrada.*

<b>HORMIGÓN</b>		
<b>CEM-II-IECA003-002-AMP</b>		
m3 hormigón	kg cem/m3 hormigón	kg cemento
84,38	400,00	33.752,00
kg cemento	kgCO <sub>2</sub> /ton. Cemento	kgCO <sub>2</sub>
33.752,00	752,00	25.381,50

### 3. Emisiones CO<sub>2</sub> nave articulada

*Tabla 4. Emisiones CO<sub>2</sub> por acero nave articulada.*

<b>ACERO</b>		
<b>Structural steel sections (IPE- Pilares)</b>		
Toneladas acero	kgCO <sub>2</sub> /ton acero	kgCO <sub>2</sub>
8,39	842,00	7.065,54
<b>Hollow structural sections (tubos - VCV, celosía)</b>		
Toneladas acero	kgCO <sub>2</sub> /ton acero	kgCO <sub>2</sub>
14,87	2.270,00	33.749,24
<b>Rebar (zapatas y vigas cimentación - acero del hormigón)</b>		
Toneladas acero	kgCO <sub>2</sub> /ton acero	kgCO <sub>2</sub>
2,69	1.200,00	3.222,00

*Tabla 5. Emisiones CO<sub>2</sub> por hormigón nave articulada.*

<b>HORMIGÓN</b>		
<b>CEM-II-IECA003-002-AMP</b>		
m3 hormigón	kg cem/m3 hormigón	kg cemento
66,38	400,00	26.552,00
kg cemento	kgCO <sub>2</sub> /ton. Cemento	kgCO <sub>2</sub>
26.552,00	752,00	19.967,10

## 4. Emisiones totales de CO<sub>2</sub>

*Tabla 6. Tabla resumen emisiones CO<sub>2</sub>.*

	<b>NAVE BASE EMPOTRADA</b>	<b>NAVE BASE ARTICULADA</b>
EMISIONES TOTALES kgCO <sub>2</sub> POR <b>ACERO</b>	41.361,74	44.036,78
EMISIONES TOTALES kgCO <sub>2</sub> POR <b>HORMIGÓN</b>	25.381,50	19.967,10
<b>EMISIONES TOTALES kgCO<sub>2</sub></b>	<b>66.743,24</b>	<b>64.003,88</b>
<b>EMISIONES TOTALES tonCO<sub>2</sub></b>	<b>66,74</b>	<b>64,00</b>

La nave articulada emite 2,74 tonCO<sub>2</sub> menos que la nave empotrada.



# PLANOS



# Índice

Plano 1. Emplazamiento .....	191
Plano 2. Nave 3D .....	192
Plano 3. Pórtico fachada nave empotrada .....	193
Plano 4. Pórtico interior nave empotrada .....	194
Plano 5. Cimentación nave empotrada .....	195
Plano 6. Pórtico fachada nave articulada .....	196
Plano 7. Pórtico interior nave articulada .....	197
Plano 8. Cimentación (1) nave articulada .....	198
Plano 9. Cimentación (2) nave articulada .....	199



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE HACIENDA Y FUNCIÓN PÚBLICA

SECRETARÍA DE ESTADO DE HACIENDA

DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO



Provincia de CASTELLÓN  
Municipio de ALMASSORA  
Coordenadas U.T.M. Huso: 30 ETRS89

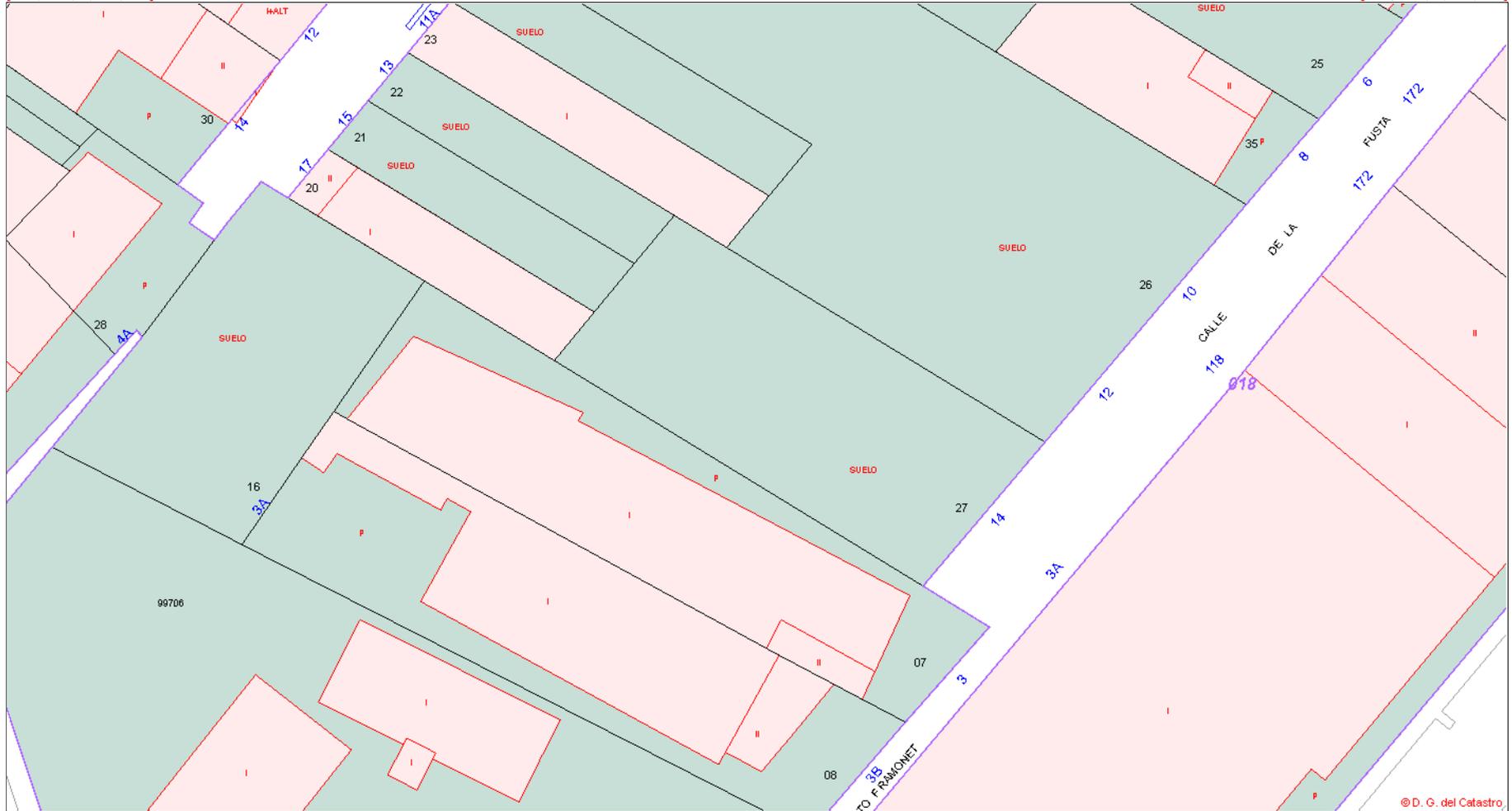
ESCALA 1:1,000



### CARTOGRAFÍA CATASTRAL

[749,765 ; 4,426,813]

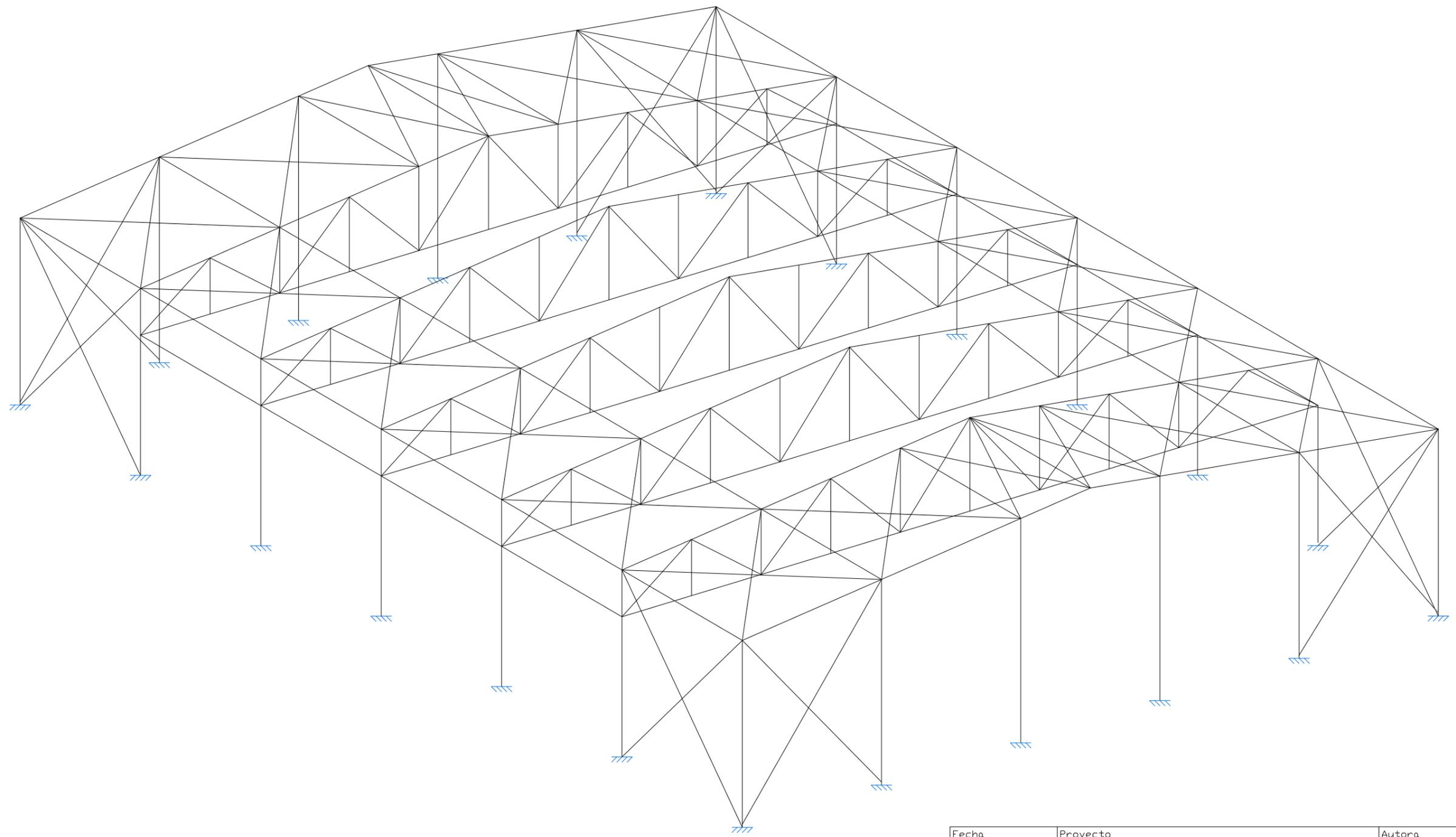
[750,005 ; 4,426,813]



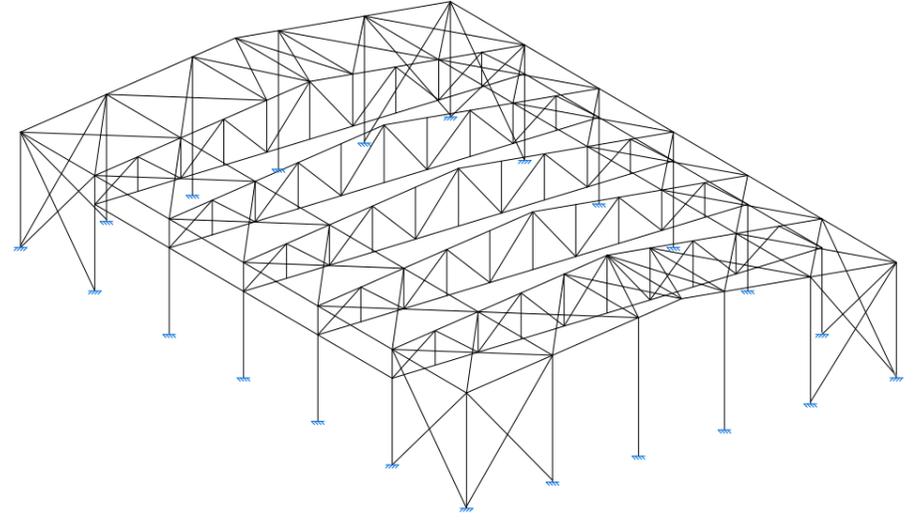
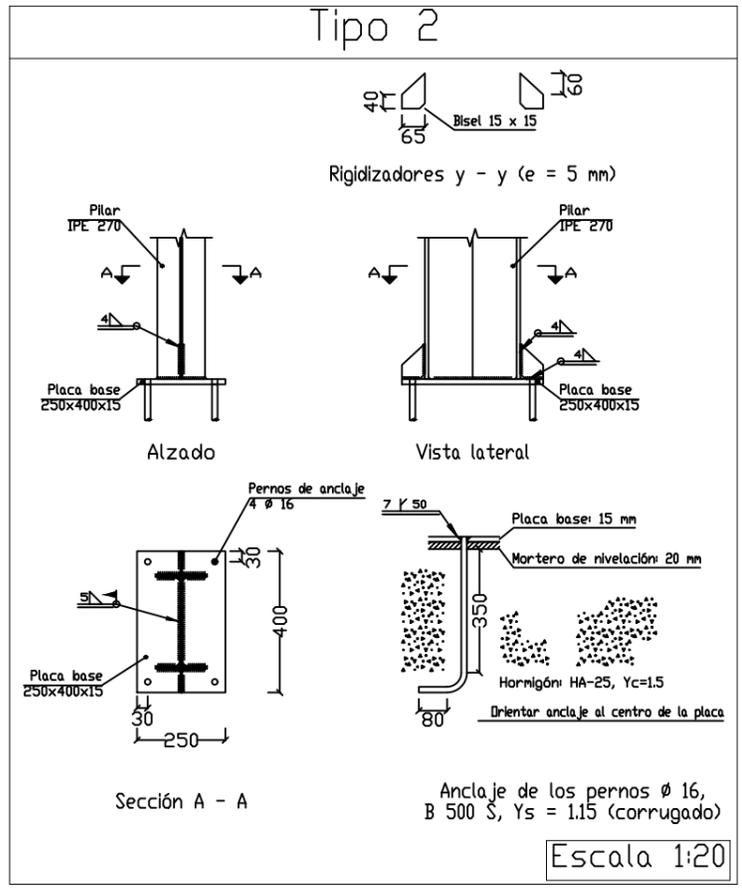
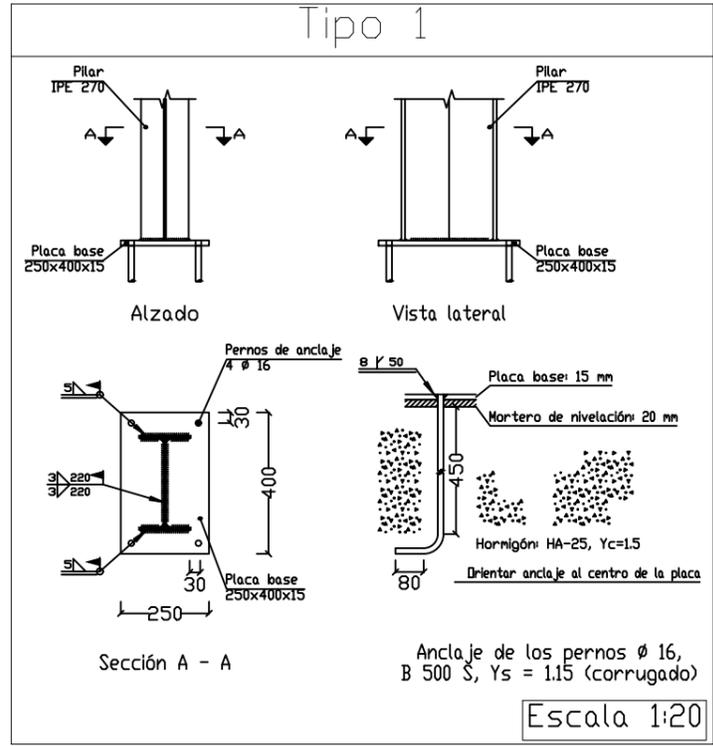
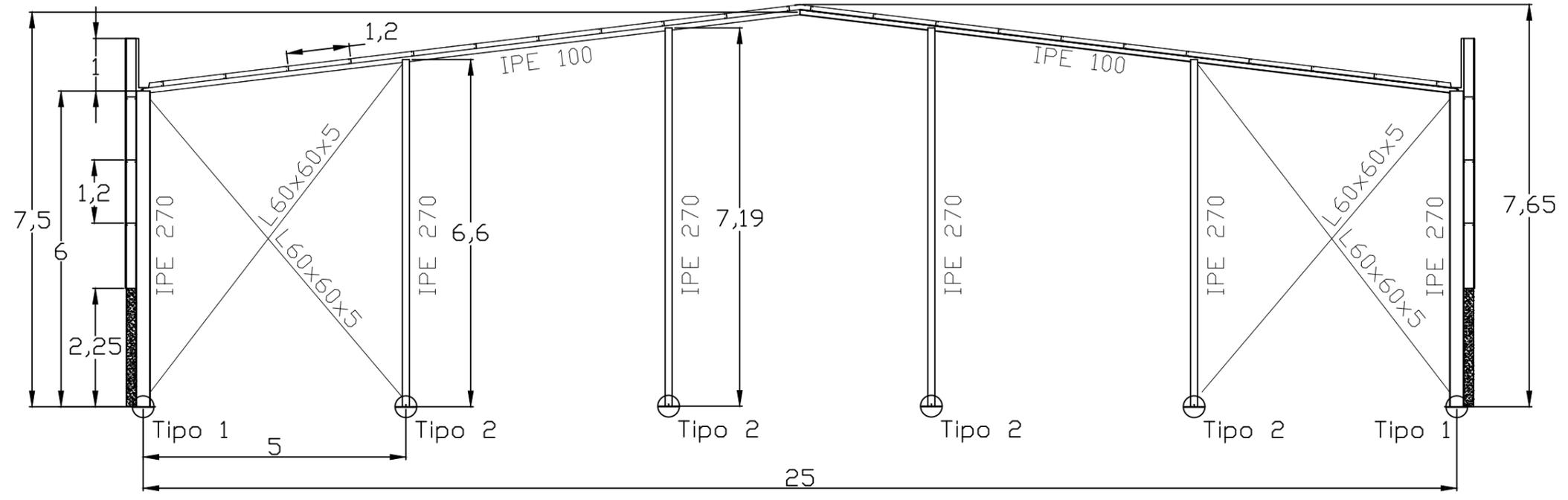
[749,765 ; 4,426,683]

[750,005 ; 4,426,683]

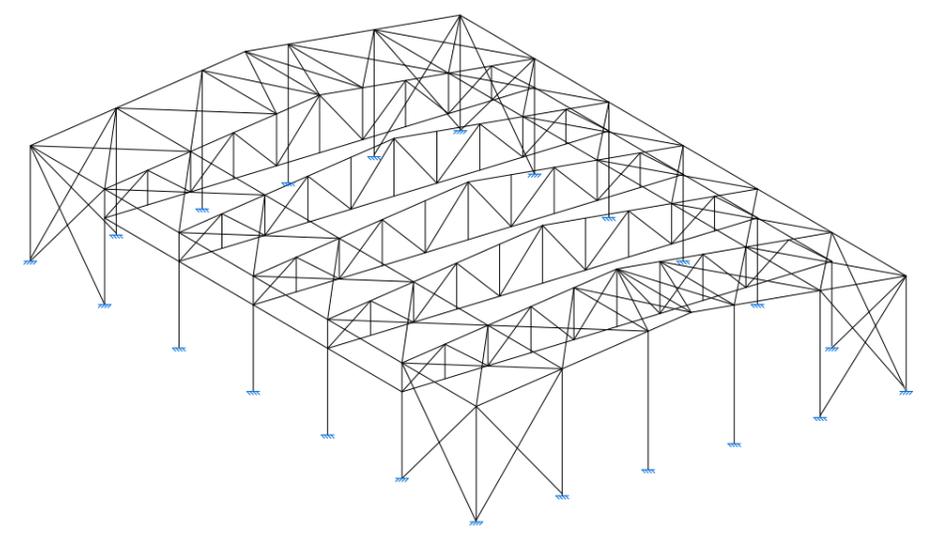
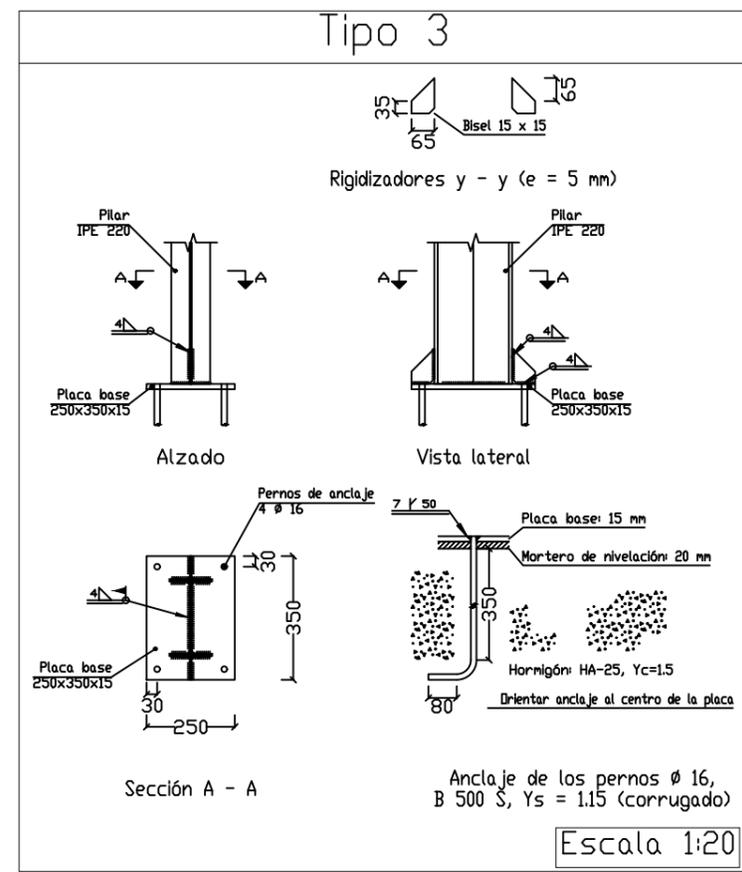
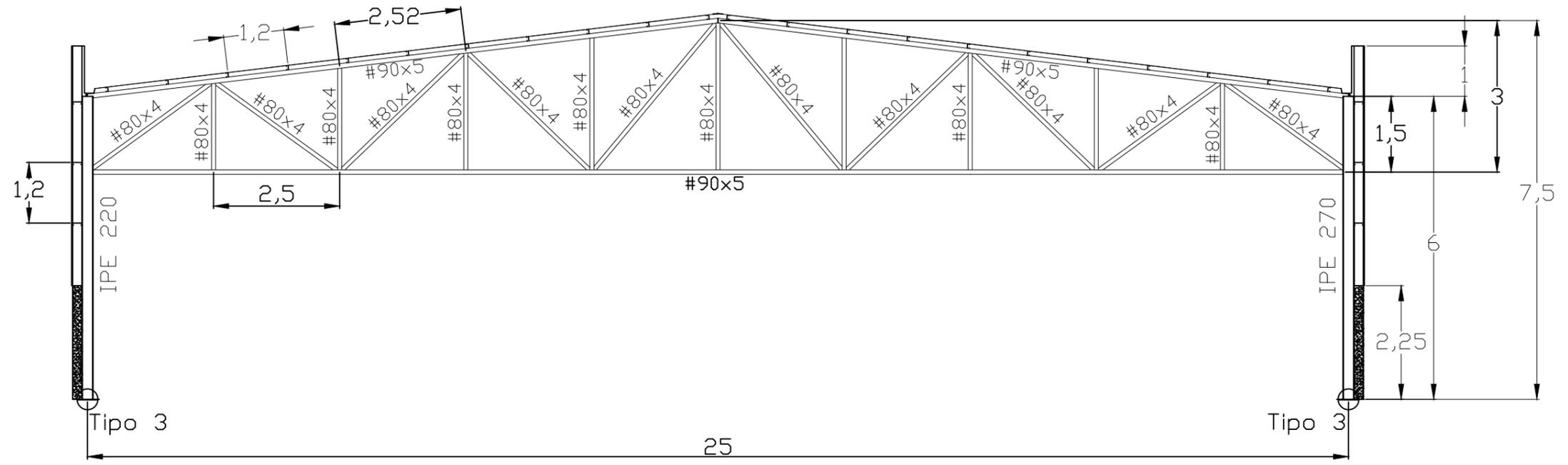
© D. G. del Catastro



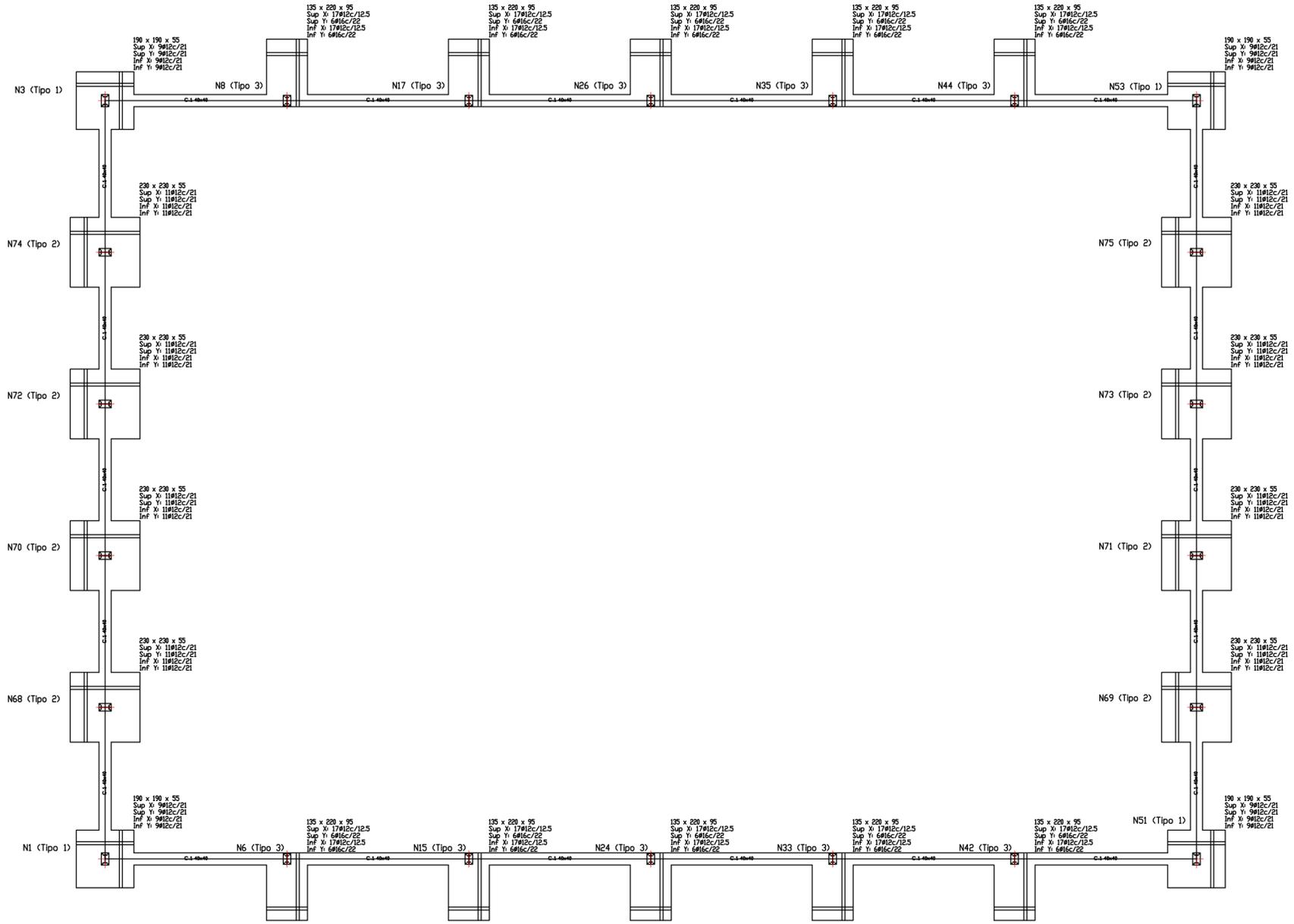
Fecha	16/10/2023	Proyecto	Cálculo comparativo de la estructura de una nave industrial con base empotrada y articulada. Comparación económica y medioambiental.	Autora	Marta Beltran Pruñonosa
Acotación	metros	Escala	1/125	Nº Plano	PLANO 2
			NAVE 3D		



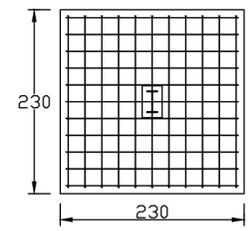
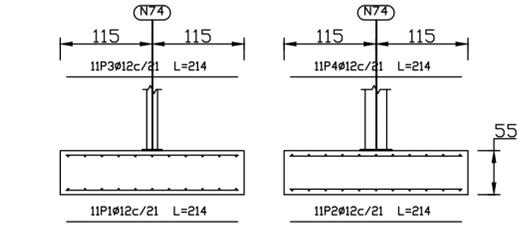
Fecha 16/10/2023	Proyecto Cálculo comparativo de la estructura de una nave industrial con base empotrada y articulada. Comparación económica y medioambiental.	Autora Marta Beltran Pruñonosa
Acotación metros		
Escala 1/100	Título plano Pórtico de fachada nave empotrada	Nº Plano PLANO 3



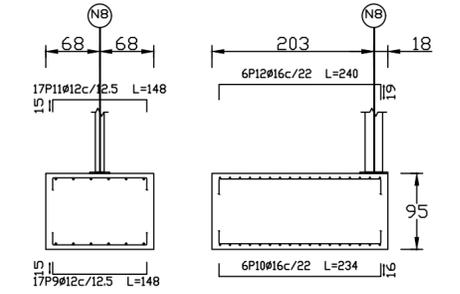
Fecha 16/10/2023	Proyecto Cálculo comparativo de la estructura de una nave industrial con base empotrada y articulada. Comparación económica y medioambiental.	Autora Marta Beltran Pruñonosa
Acotación metros		
Escala 1/100	Título plano Pórtico interior nave empotrada	Nº Plano PLANO 4



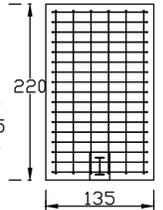
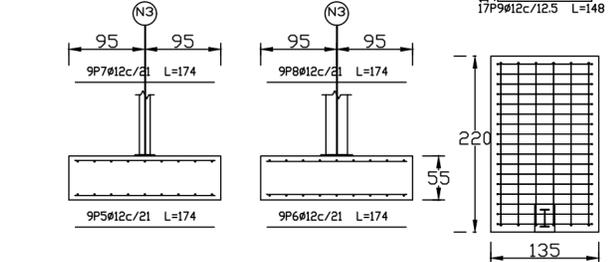
N74, N72, N70, N68, N69, N71, N73 y N75



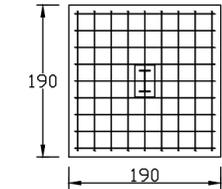
N8, N17, N26, N35 y N44



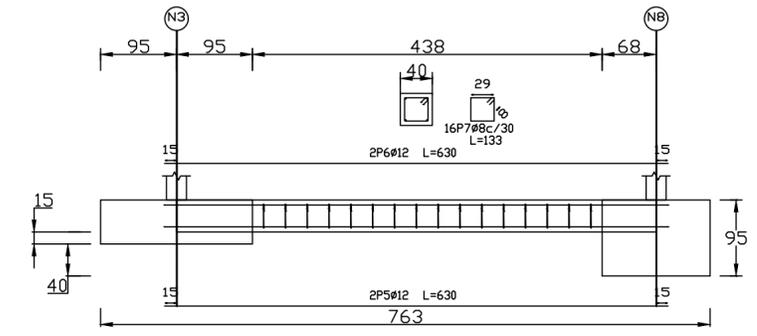
N3, N1, N51 y N53



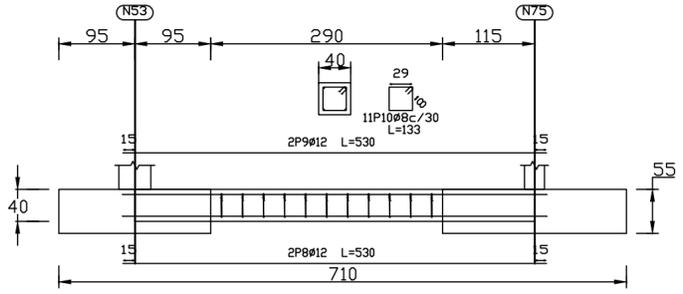
Nave con cimentación  
Escala: 1:100



C [N3-N8], C [N8-N17], C [N17-N26], C [N26-N35], C [N35-N44], C [N44-N53], C [N51-N42], C [N42-N33], C [N33-N24], C [N24-N15], C [N15-N6] y C [N6-N1]

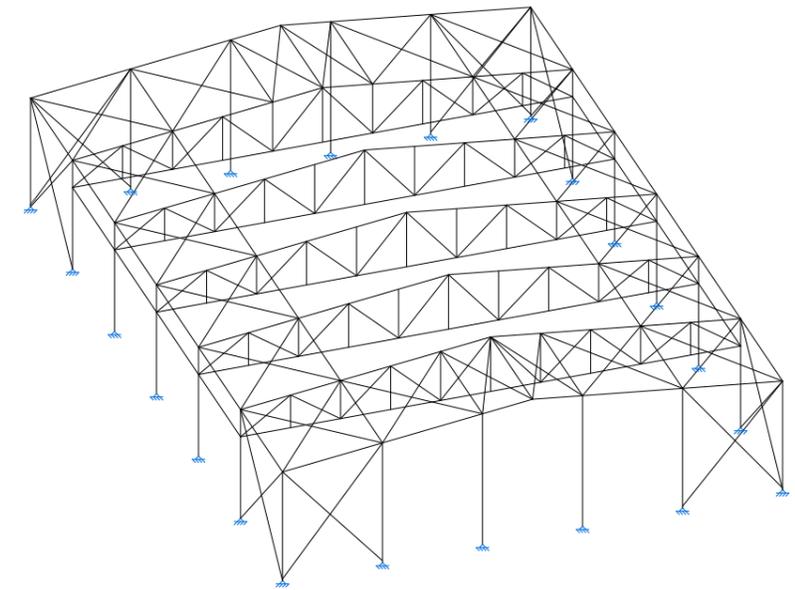
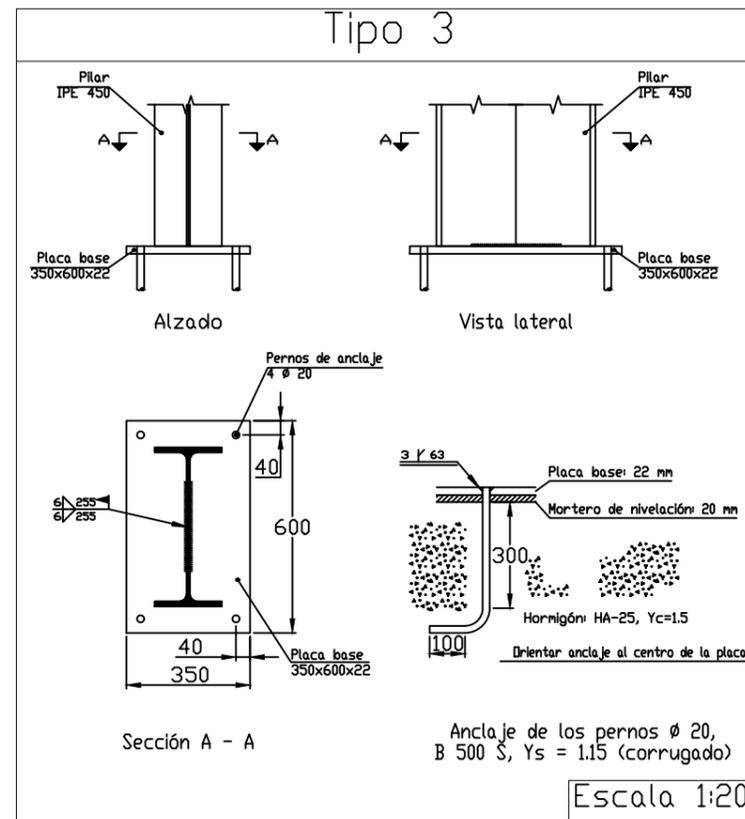
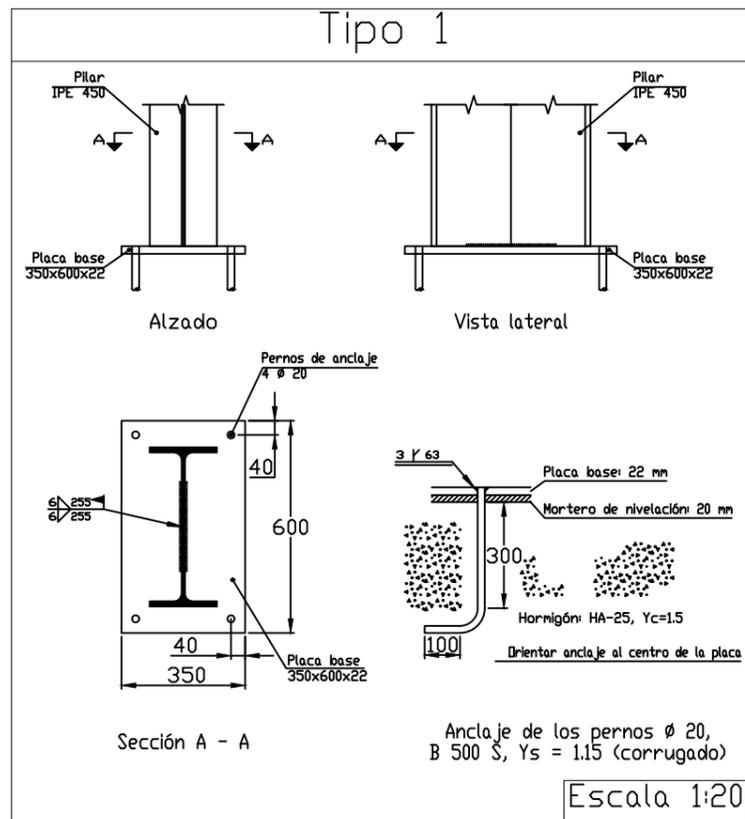
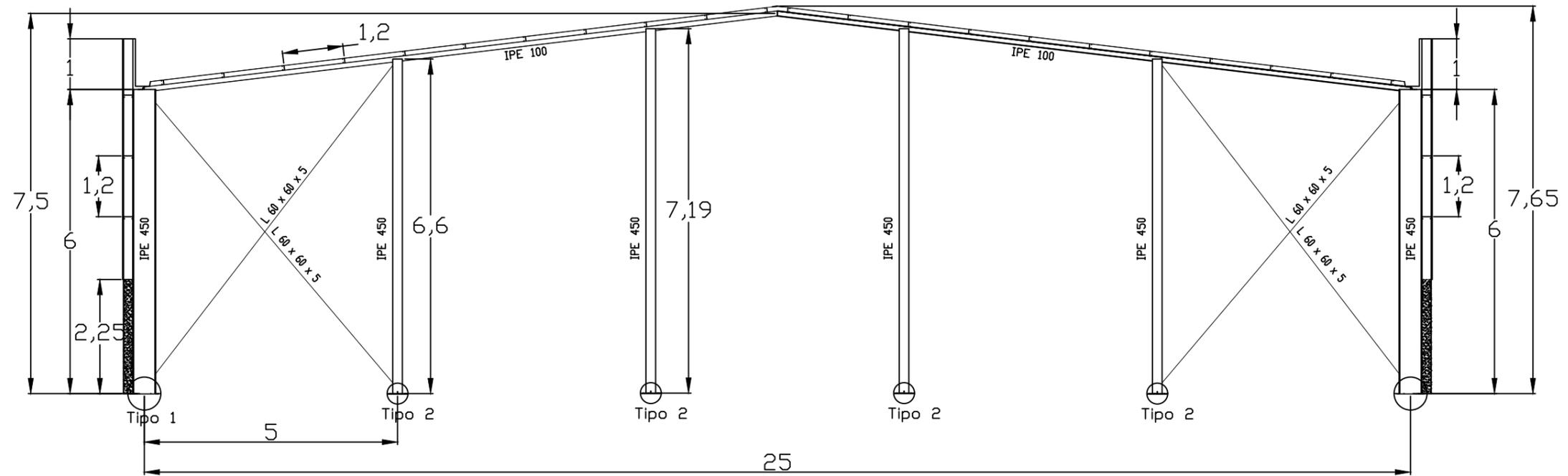


C [N53-N75], C [N75-N73], C [N73-N71], C [N71-N69], C [N69-N51], C [N1-N68], C [N68-N70], C [N70-N72], C [N72-N74] y C [N74-N3]

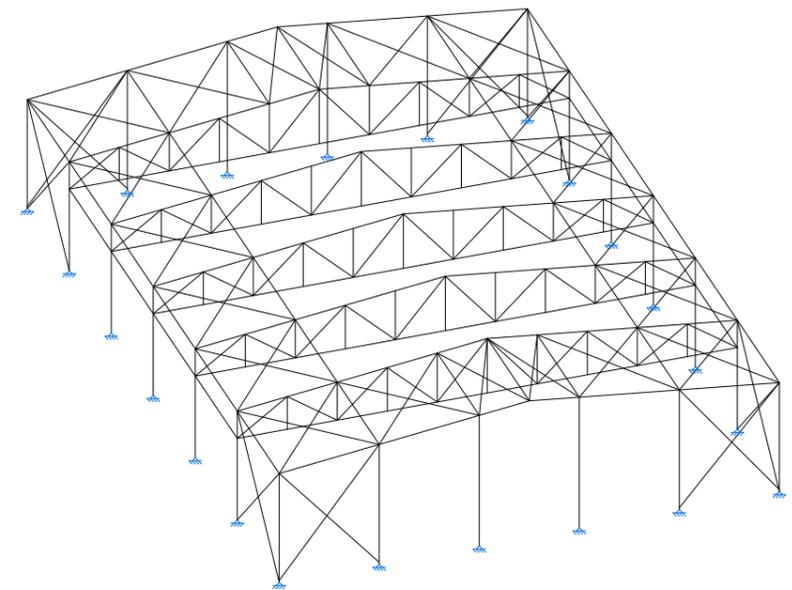
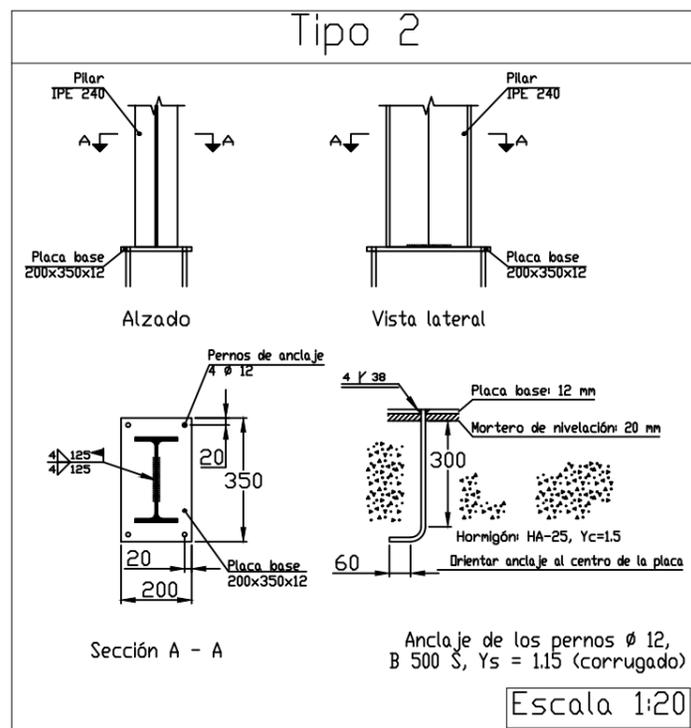
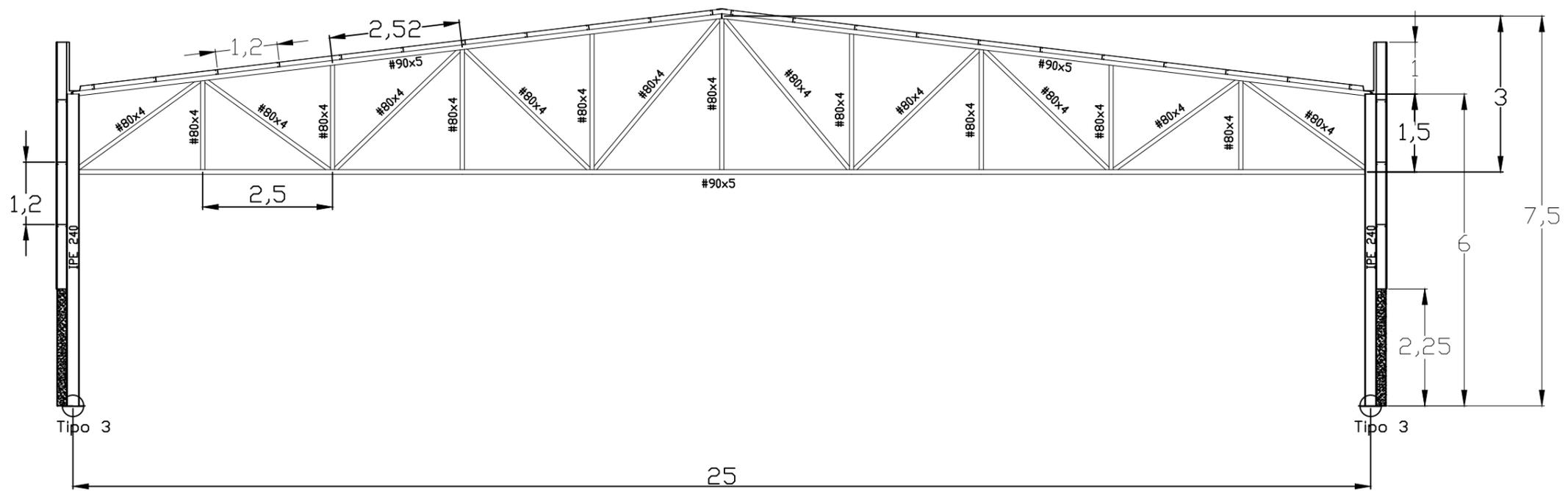


Nave con cimentación  
Escala: 1:100

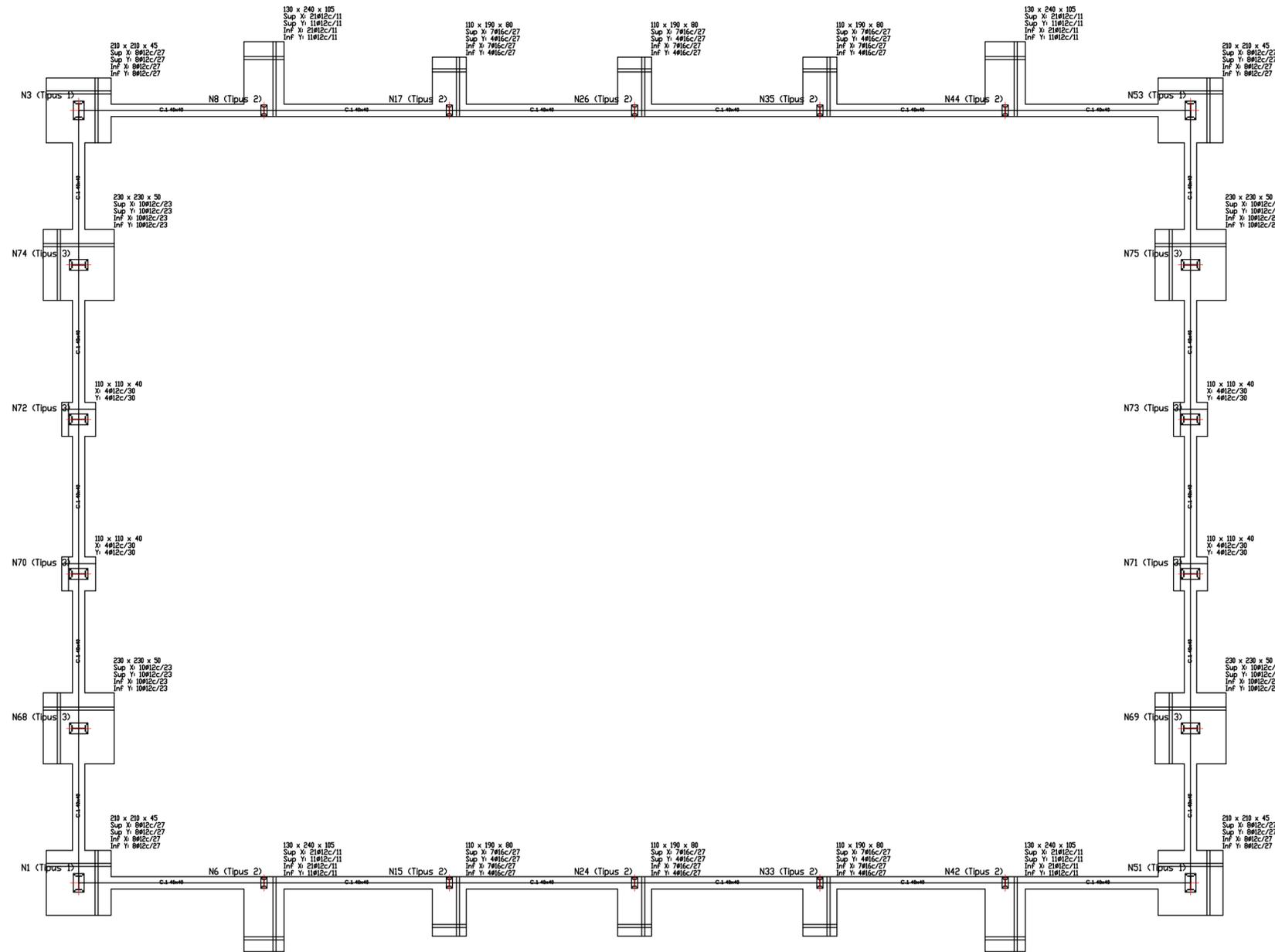
Fecha 16/10/2023	Proyecto Cálculo comparativo de la estructura de una nave industrial con base empotrada y articulada. Comparación económica y medioambiental.	Autora Marta Beltran Pruiñosa
Acotación metros	Título plano Cimentación nave empotrada	Nº Plano PLANO 5
Escala 1/125		



Fecha 16/10/2023	Proyecto Cálculo comparativo de la estructura de una nave industrial con base empotrada y articulada. Comparación económica y medioambiental.	Autora Marta Beltran Pruñonosa
Acotación metros		Nº Plano
Escala 1/100	Título plano Pórtico de fachada nave articulada	PLANO 6

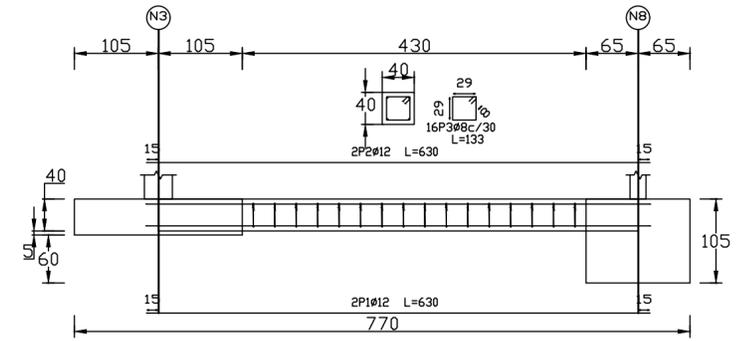


Fecha 16/10/2023	Proyecto Cálculo comparativo de la estructura de una nave industrial con base empotrada y articulada. Comparación económica y medioambiental.	Autora Marta Beltran Pruñonosa
Acotación metros		
Escala 1/100	Título plano Pórtico interior nave articulada	Nº Plano PLANO 7

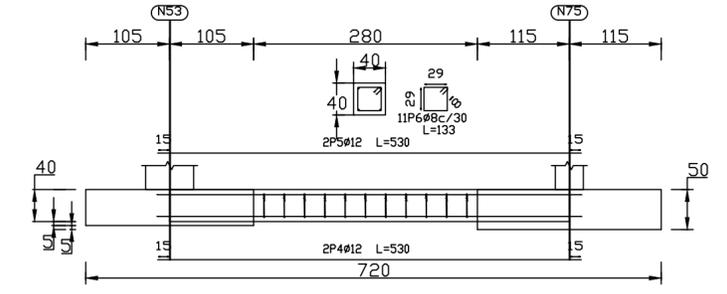


C [N3-N8], C [N8-N17], C [N17-N26], C [N26-N35], C [N35-N44], C [N44-N53], C [N51-N42],  
C [N42-N33], C [N33-N24], C [N24-N15], C [N15-N6] i C [N6-N1]

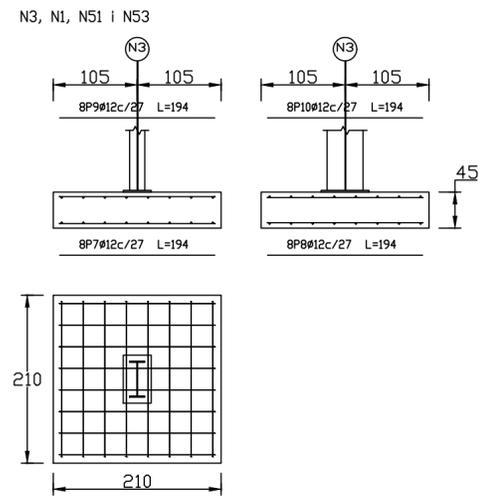
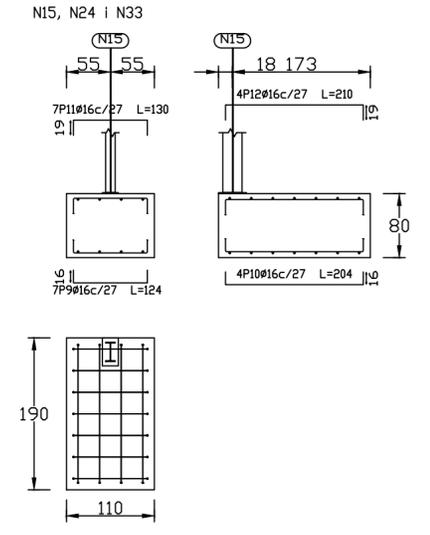
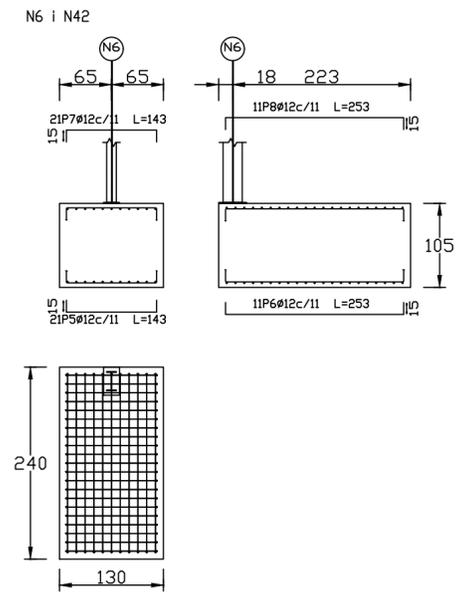
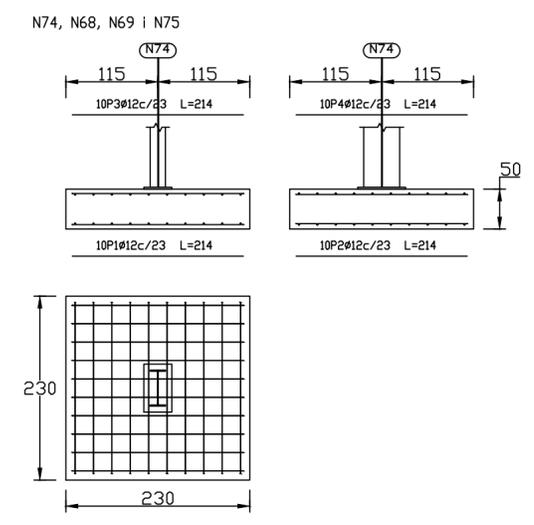
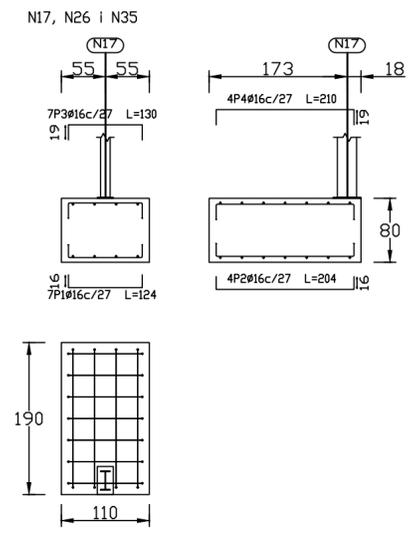
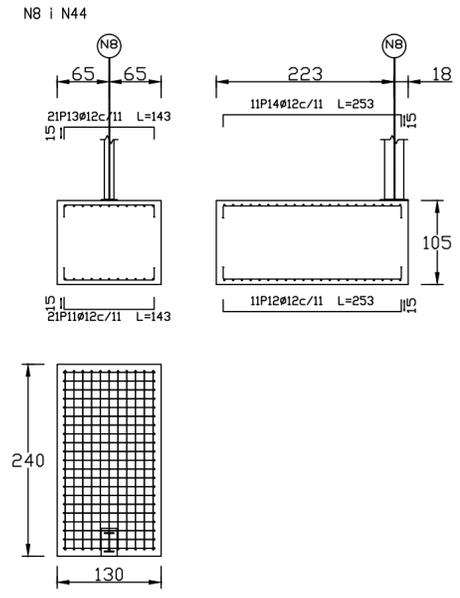
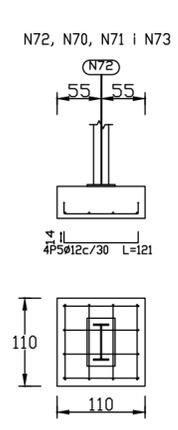
Nave con cimentación  
Escala: 1:100



C [N53-N75], C [N75-N73], C [N73-N71], C [N71-N69], C [N69-N51], C [N1-N68],  
C [N68-N70], C [N70-N72], C [N72-N74] i C [N74-N3]



Fecha 16/10/2023	Proyecto Cálculo comparativo de la estructura de una nave industrial con base empotrada y articulada. Comparación económica y medioambiental.	Autora Marta Beltran Pruñosa
Acotación metros	Título plano Cimentación nave articulada (1)	Nº Plano PLANO 8
Escala 1/125		



Nave con cimentación  
Escala: 1/100

Fecha 16/10/2023	Proyecto Cálculo comparativo de la estructura de una nave industrial con base empotrada y articulada. Comparación económica y medioambiental.	Autora Marta Beltran Pruñonosa
Acotación metros	Título plano Cimentación nave articulada (2)	Nº Plano PLANO 9
Escala 1/125		