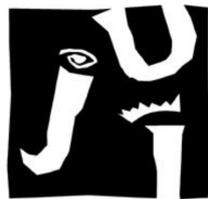


DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA NAVE  
INDUSTRIAL CON PUENTE GRÚA  
DESTINADA A LA CARGA DE BATERÍAS DE  
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS



**UNIVERSITAT**  
**JAUME·I**

Grado en Ingeniería Mecánica  
TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor: Jose Guillén Dos

Tutora: Carmen Ibáñez Usach

Julio 2017



**DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG:**

1. MEMORIA DESCRIPTIVA
2. ANEXO DE CÁLCULOS
3. PLIEGO DE CONDICIONES
4. MEDICIONES Y PRESUPUESTO
5. PLANOS

# **1.MEMORIA DESCRIPTIVA**

1.	MEMORIA DESCRIPTIVA.....	3
1.1	Objeto del proyecto .....	5
1.2	Alcance .....	5
1.3	Antecedentes .....	5
1.4	Emplazamiento.....	6
1.5	Normativa aplicable .....	7
1.5.1	Documentos y normas consultadas .....	7
1.5.2	Programas de cálculo .....	7
1.6	Requisitos del diseño .....	8
1.7	Materiales utilizados .....	9
1.8	Descripción de la solución adoptada .....	10
1.8.1	Pórtico de fachada .....	11
1.8.2	Pórticos interiores .....	11
1.8.3	Sistema contraviento .....	12
1.8.4	Viga perimetral.....	13
1.8.5	Viga carrilera .....	14
1.8.6	Ménsulas .....	14
1.8.7	Correas de cubierta y laterales.....	15
1.8.8	Cerramientos de cubierta y laterales .....	16
1.8.9	Placas de Anclaje .....	16
1.8.10	Cimentación .....	20
1.8.11	Puente grúa .....	25
1.8.12	Solera.....	26
1.9	Resultados finales.....	28
1.10	Resumen del presupuesto.....	29
1.11	Bibliografía .....	30

## 1.1 Objeto del proyecto

El objeto de este proyecto es el diseño y cálculo de la estructura de una nave industrial destinada a la carga de baterías de vehículos eléctricos. Para el diseño se tendrán en cuenta las dimensiones requeridas de la nave, su emplazamiento, las cargas que actúan sobre la misma, las condiciones de contorno y los materiales a emplear en la estructura.

Para el diseño de esta nave se considerará la instalación de un puente grúa con las correspondientes cargas que éste introduce, importantes a la hora de calcular y dimensionar la estructura.

Además se realizará un diseño detallado de la solera debido a la elevada frecuencia de paso de vehículos eléctricos.

## 1.2 Alcance

Esta nave se dedicará concretamente al almacenamiento de vehículos eléctricos para su carga en la empresa Itaca S.A.

Una vez establecido el emplazamiento de la nave se procederá al diseño y cálculo de la estructura metálica.

Además, una vez seleccionado el puente grúa según los requisitos de la actividad y de la edificación, se procederá a incluir en la estructura los elementos necesarios para su instalación y funcionamiento.

El cálculo estructural se realizará en base a las disposiciones contenidas en la normativa aplicable vigente: el Código Técnico de Edificación (CTE) y la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).

Debido a la elevada frecuencia de paso de vehículos eléctricos, será conveniente, en este caso, realizar un diseño detallado de la solera de la nave industrial para asegurar que su resistencia es suficiente para soportar esta actividad garantizando y, al mismo tiempo, su buena conservación.

## 1.3 Antecedentes

Itaca S.A. inicia su actividad en 1989 en La Pobra Tornesa (Castellón, España), dedicada a la fabricación y comercialización de colorantes cerámicos. Basando su estrategia en la innovación del proceso de fabricación, diseño y la constante inversión en I+D. Itaca se ha convertido en un fuerte competidor en el campo de los colorantes cerámicos, especialmente para pastas y porcelánico.

En los últimos años la empresa Itaca S.A. ha experimentado una notable ampliación de la planta, gracias a una fuerte demanda de su producto. Por esta razón se han tenido que adquirir nuevas máquinas elevadoras, ya que estas son muy importantes en el proceso de producción del material.

Para almacenar y cargar estos vehículos eléctricos, se necesita construir una nave industrial anexa a la planta de producción principal.

## 1.4 Emplazamiento

La nave industrial que se va a construir se encuentra ubicada en la empresa Itaca S.A. situada en La Poba Tornesa (provincia de Castellón) a 23km de Castellón de la Plana.



Figura 1. Ubicación de la planta. Fuente: Google Earth

## 1.5 Normativa aplicable

### 1.5.1 Documentos y normas consultadas

Las normas y documentos consultados en el presente proyecto son:

- Código Técnico de Edificación (CTE): El código técnico de la edificación establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, se debe garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente.
  - DB-SE-A (Documento Básico. Seguridad Estructural: Acero).
  - DB-SE-AE (Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación).
- EHE-08: Instrucción de Hormigón estructural.
- ACI-360R (American Concrete Institute): Norma americana para dimensionado de soleras.

### 1.5.2 Programas de cálculo

Para el diseño de la nave industrial se utilizará el programa comercial CYPE Ingenieros, más concretamente los módulos Cype 3D, Generador de Pórticos y Arquímedes para calcular el precio de la estructura. También se utilizará el programa comercial AutoCAD para crear los planos correspondientes.

- **Generador de Pórticos**

El Generador de Pórticos es el módulo de Cype Ingenieros que permite crear de forma rápida y sencilla la geometría y las cargas de peso propio, sobrecarga de uso, viento y nieve de un pórtico formado por nudos rígidos, celosías o cerchas. Proporciona el dimensionamiento de correas de cubiertas y laterales de fachadas, optimizando el perfil y la separación entre correas.

Posteriormente se podrán exportar los datos al módulo Cype 3D siguiendo la normativa del CTE.

Las cargas de viento y nieve se calcularán automáticamente, según la norma elegida (CTE), con la selección de la localidad donde se sitúa la estructura. En este caso las únicas cargas que se añadirán manualmente serán las del puente grúa.

- **CYPE 3D**

Cype 3D es un programa que permite realizar el cálculo de estructuras en tres dimensiones de barras de cualquier material, el dimensionamiento de uniones y el de su cimentación.

- **AutoCAD**

AutoCAD es un programa de diseño asistido por ordenador que permite la creación de planos.

## 1.6 Requisitos del diseño

Dadas las actividades que se pretenden llevar a cabo en esta nave, se va a optar por la construcción de una nave industrial a dos aguas.

Para facilitar el tránsito por el interior de la nave, las baterías de los vehículos eléctricos se colocarán en los laterales de la misma. Cada vehículo o batería tendrá delimitado mediante líneas en el pavimento su lugar de estacionamiento. Además, cada batería o vehículo dispondrá de un tanque de agua destilada (necesaria para la electrólisis de las baterías) y su respectivo cargador. En una de las esquinas de la nave se dispondrá una sala de lavado de baterías.

Como se ha comentado anteriormente, en el diseño de la nave se considerará la instalación de un puente grúa, en este caso de 5 toneladas.

El puente grúa se encargará de transportar las pesadas baterías a lo largo de los 48 metros de la nave y ayudará a instalar estas baterías en los vehículos eléctricos.

Además debido a la elevada frecuencia de paso de estos vehículos, se realizará un diseño detallado de la solera ya que en este caso es un elemento crítico para el buen desarrollo de las actividades en la nave.

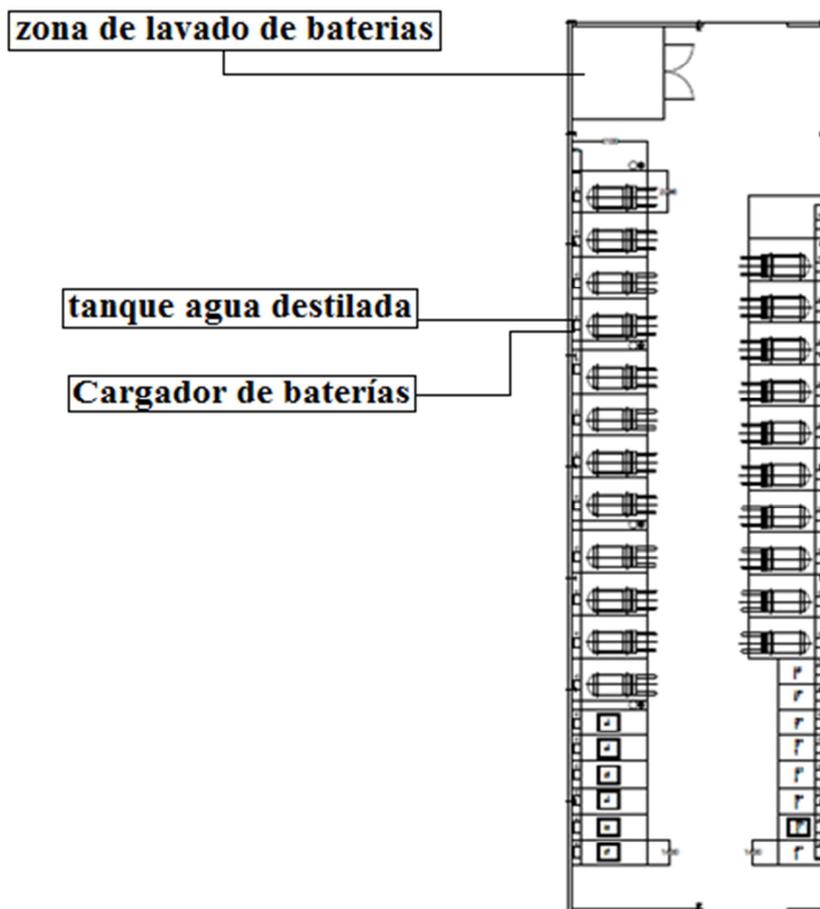


Figura 2. Distribución en planta

## 1.7 Materiales utilizados

Para la realización de la nave industrial se utilizarán dos tipos de materiales: hormigón y acero.

Se utilizarán los aceros S275 y S235 según el Código Técnico de la Edificación (CTE), además dentro de los diferentes tipos de hormigón, se ha utilizado HM-25 según la instrucción de Hormigón Estructural EHE-08.

Tabla 1. Materiales utilizados en la obra

Material	Elemento donde ha sido utilizado
S275	Pórticos de fachada e interiores, vigas perimetrales, sistema contraviento, viga carrilera
S235	Correas de cubierta y laterales
HM-25	Solera
B500S	Armado en las zapatas de cimentación, vigas de atado entre las zapatas y pernos de las placas de anclaje
HL-150	Solera asiento de las zapatas
HA-25	Zapatas y Vigas de atado

Los aceros S275 corresponden a perfiles laminados en caliente y tienen las siguientes características:

Tabla 2. Características acero S275

Módulo Elástico (E)	Límite Elástico ( $f_y$ )	Densidad ( $\rho$ )	Coefficiente de Poisson ( $\mu$ )	Dilatación Térmica ( $\alpha$ )	Coefficiente Parcial de Seguridad ( $\gamma_s$ )
210GPa	275MPa	7850kg/m <sup>3</sup>	0.33	1.2*10 <sup>-5</sup> °C <sup>-1</sup>	1.05

Los aceros S235 también son perfiles laminados en caliente y tienen las siguientes características:

Tabla 3. Características acero S235

Módulo Elástico (E)	Límite Elástico ( $f_y$ )	Densidad ( $\rho$ )	Coefficiente de Poisson ( $\mu$ )	Dilatación Térmica ( $\alpha$ )	Coefficiente Parcial de Seguridad ( $\gamma_s$ )
210GPa	235MPa	7850kg/m <sup>3</sup>	0.33	1.2*10 <sup>-5</sup> °C <sup>-1</sup>	1.05

Acero B500S

Tabla 4. Características acero B500S

Módulo Elástico (E)	Límite Elástico ( $f_y$ )	Densidad ( $\rho$ )	Coefficiente de Poisson ( $\mu$ )	Tensión de Rotura	Coefficiente Parcial de Seguridad ( $\gamma_s$ )
210GPa	500MPa	7850kg/m <sup>3</sup>	0.33	550MPa	1.15

Para la solera se utilizará el Hormigón con resistencia característica a compresión a los 28 días de 25MPa, teniendo una clase general de exposición de tipo I (Elementos de hormigón en masa).

Además, se empleará el hormigón de limpieza (HL-150) para de la solera de asiento de las zapatas, su función es nivelar la superficie en la que debe ponerse el suelo, evitar contaminación y evitar desecación del hormigón estructural de la solera.

### 1.8 Descripción de la solución adoptada

La nave estará constituida por 9 pórticos con una separación entre pórticos de 6m, por lo que la nave tendrá 48m. de profundidad. La nave se diseñará con perfiles de acero laminado.

La altura de los pilares será de 10m, la altura de cumbrera de 11m y la nave tendrá una luz de 14m. A continuación se muestra una figura con la vista de la nave en 3D.

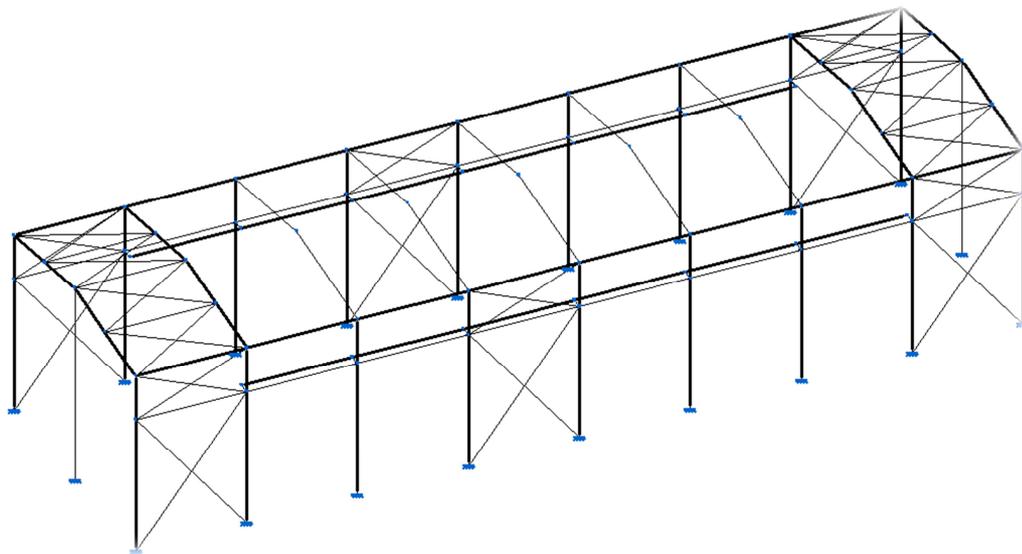


Figura 3. Vista 3D de la estructura de la nave industrial

### 1.8.1 Pórtico de fachada

El pórtico de fachada está compuesto por tres pilares, dos pilares de esquina IPE400 con una altura de 10 metros y un pilar central IPE500 con una altura de 11 metros. Además, para la jácena del pórtico se dispone un IPE240.

A diferencia de los pórticos laterales, en los pórticos de fachada se utilizarán bloques de hormigón para el cerramiento que arriostrarán el pórtico en un plano.

Como criterio de diseño, se adopta el mismo tipo de pórtico para la fachada trasera y la frontal.

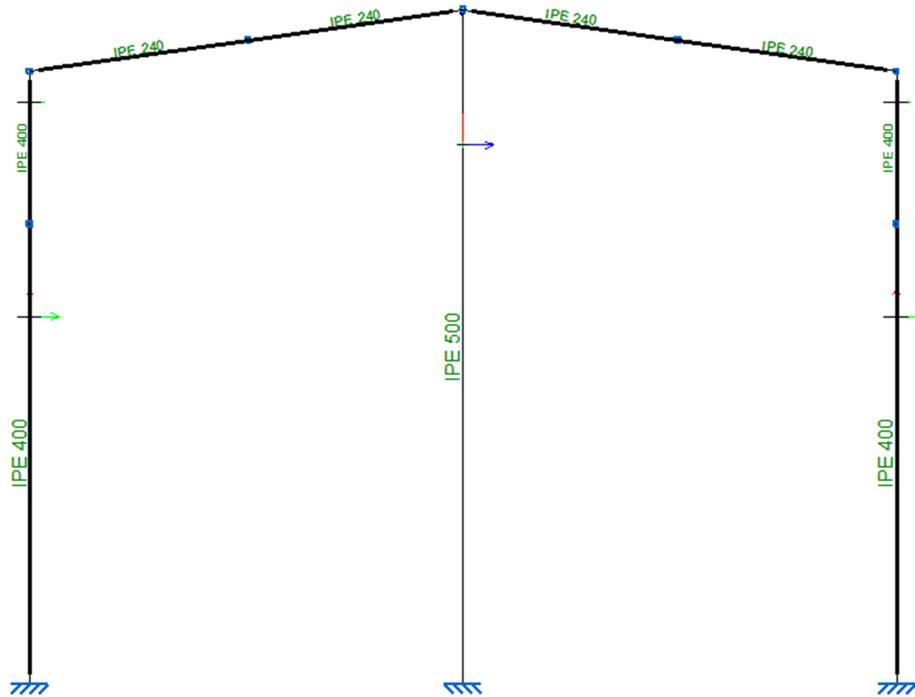


Figura 4. Pórtico de fachada delantera y trasera

### 1.8.2 Pórticos interiores

La nave está compuesta por 7 pórticos interiores con una separación entre ellos de 6 metros (crujía). Estos pórticos están formados por 2 pilares IPE450 y una jácena con un perfil IPE330, con las mismas longitudes que en los pórticos de fachada.

En todos y cada uno de los 7 pórticos interiores que componen la nave se instalarán unas ménsulas a 7,5 metros de altura, donde descansará el puente grúa y que posteriormente se detallarán.

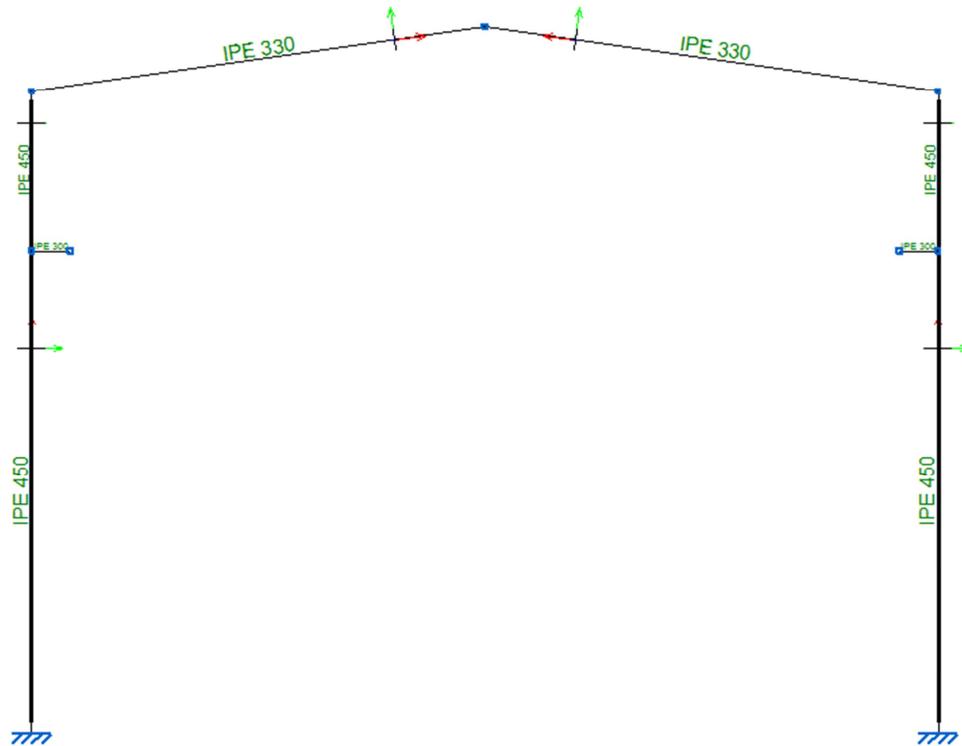


Figura 5. Pórtico interior

### 1.8.3 Sistema contraviento

El sistema contraviento estará formado por la viga a contraviento (VCV) y el sistema de arriostramiento de las fachadas laterales (CSA). Su función será absorber las acciones del viento frontal y canalizar los esfuerzos a la cimentación.

- **Viga Contraviento (VCV)**

La viga a contraviento estará situada entre los pórticos de fachada y los primeros pórticos interiores. Estará formada por tirantes dispuestos de forma diagonal de perfil redondo macizo R15 y montantes de perfil tubular cuadrado #90x3.

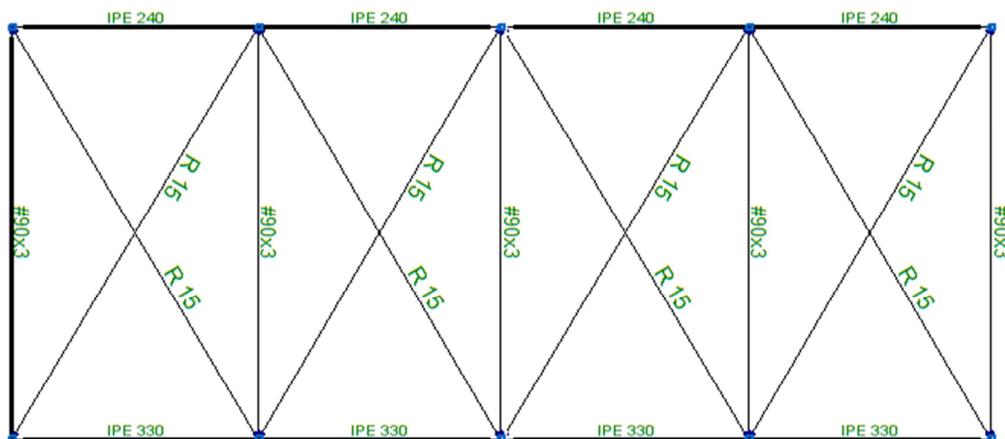


Figura 7. Viga Contraviento (VCV)

- **Sistema de arriostramiento fachada lateral (CSA).**

Los arriostramientos de la fachada lateral estarán formados por cruces de San Andrés. Este sistema tiene dos funciones: canalizar los esfuerzos del viento a la cimentación y arriostrar el plano de fachada lateral, es decir, hacer intraslacional ese mismo plano. Las cruces de San Andrés se sitúan entre el pórtico de fachada y el primer pórtico interior (pórticos 1-2 y 8-9) y entre los pórticos 4 y 5 como se puede ver en la figura 7.

Entre los pórticos 1-2 y 8-9 se dispondrá de 2 diagonales de perfil R10 (cruces superiores) y R18 (cruces inferiores), en cuanto a las diagonales situadas entre los pórticos 4-5 serán perfiles redondos R12 (cruces superiores) y R20 (cruces inferiores).

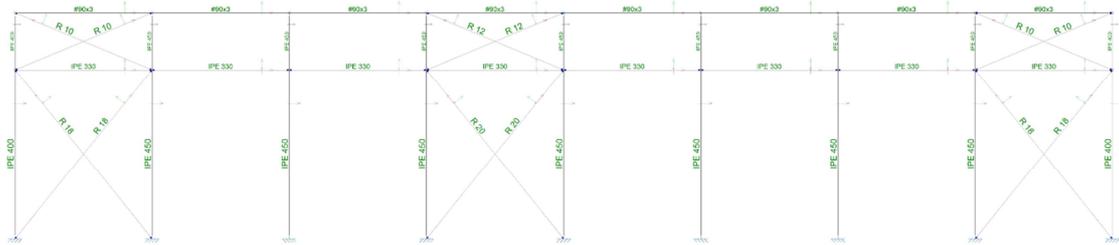


Figura 7. Vista fachada lateral

#### 1.8.4 Viga perimetral

La función de este elemento será enlazar las cabezas de los pilares. La viga perimetral se dispondrá desde el pórtico 1 hasta el 9 y se instalarán con un perfil tubular cuadrado #90x3.

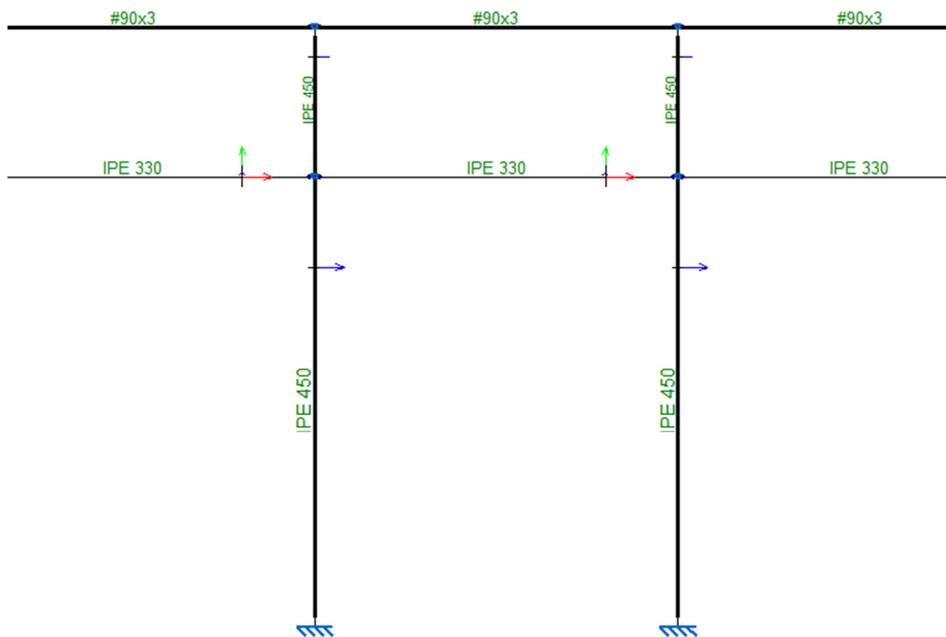


Figura 8. Viga perimetral

### 1.8.5 Viga carrilera

La viga carrilera es aquella que servirá de guía al puente grúa y el perfil seleccionado para su instalación será HEB 140. Estas vigas se apoyarán sobre las ménsulas que se describirán en el apartado siguiente.

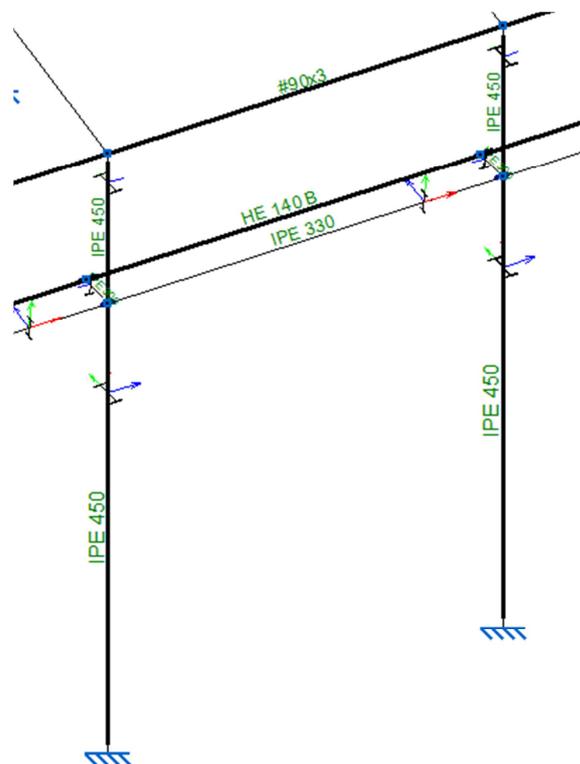


Figura 9. Viga Carrilera

### 1.8.6 Ménsulas

Las ménsulas tienen como función servir de apoyo a la viga carrilera y el puente grúa. Se situarán a 7,5 metros del suelo y el perfil seleccionado será el IPE300 con una longitud de 0,6 metros.

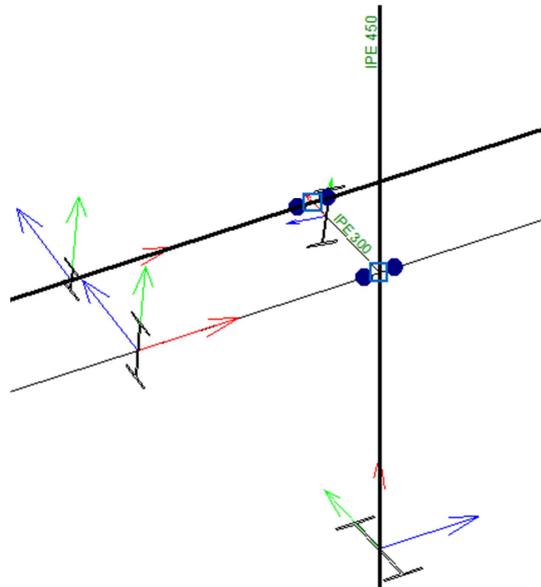


Figura 10. Ménsula

### 1.8.7 Correas de cubierta y laterales

Las correas de cubierta se encargan de transmitir tanto las acciones permanentes como las variables a los pórticos. Las correas utilizadas son de perfil de acero conformado S235 de tipo CF. Con un total de 14 correas en cubierta con una separación entre ellas de 1.2 metros, se escogerá un perfil CF-250x2.5 con un peso de  $0.07 \text{ kN/m}^2$ , al ser la combinación de menor peso que cumple los criterios de seguridad.

En cuanto a las correas laterales, se ha elegido un perfil CF-250x4.0 con una separación entre ellas de 0.6m y un peso de  $0.22 \text{ kN/m}^2$ .

En la siguiente imagen se puede observar la disposición de las correas.

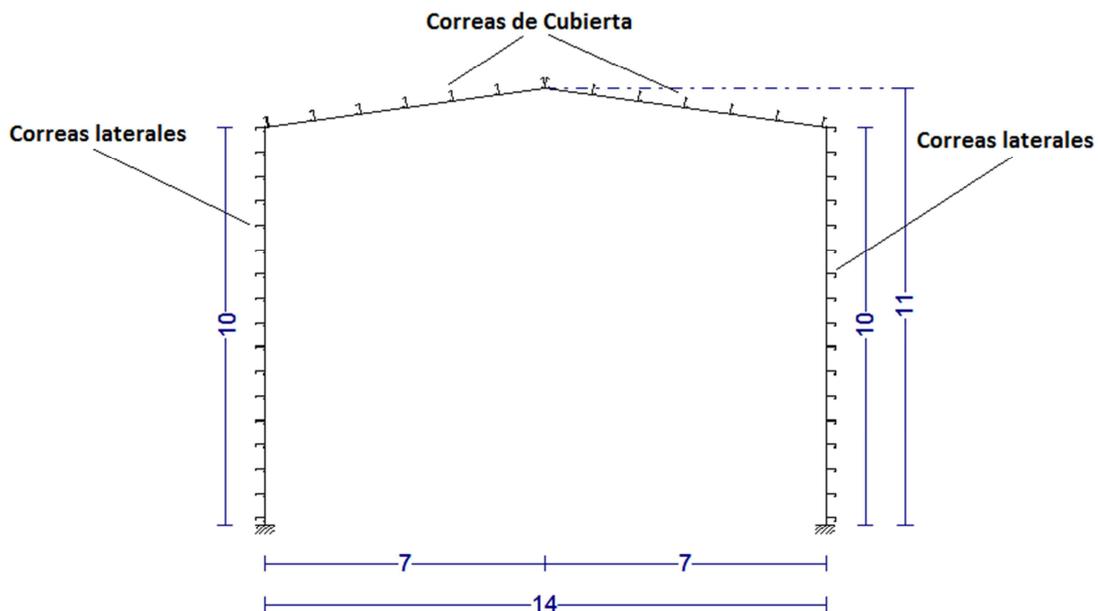


Figura 11. Distribución de las correas en el pórtico

### 1.8.8 Cerramientos de cubierta y laterales

La nave cuenta con cerramiento de cubierta y laterales tipo Sándwich cuyo espesor total es de 80 mm. El peso aproximado del panel es de  $0.13 \text{ kN/m}^2$ . Compuestos usualmente por dos chapas de acero perfilado y prelacado que otorgan una resistencia mecánica al conjunto y un núcleo de poliuretano que cumple las funciones de aislante térmico y acústico.

### 1.8.9 Placas de Anclaje

Las placas de anclaje son elementos metálicos que se encargan de unir los pilares con la cimentación. Su función es transmitir los esfuerzos del pilar a la cimentación, y que estos vayan al terreno.

Las placas de anclaje están formadas por 3 elementos: placa base, cartelas y pernos.

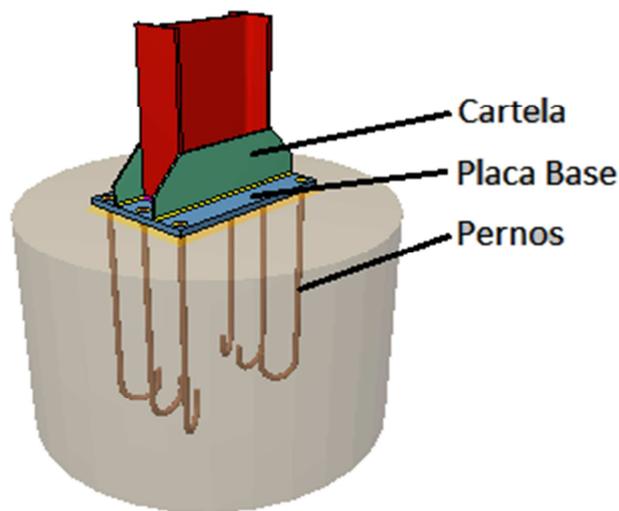


Figura 12. Placa de anclaje

La nave se ha diseñado contando con 3 tipos distintos de placas de anclaje. En función de los perfiles de los pilares. Los 3 tipos son: pilares centrales de fachada (tanto delantera como trasera) (Tipo 1), pilares laterales (Tipo 2) y por último los cuatro pilares esquineros de la nave (Tipo 3), como se puede ver en la Figura 13.

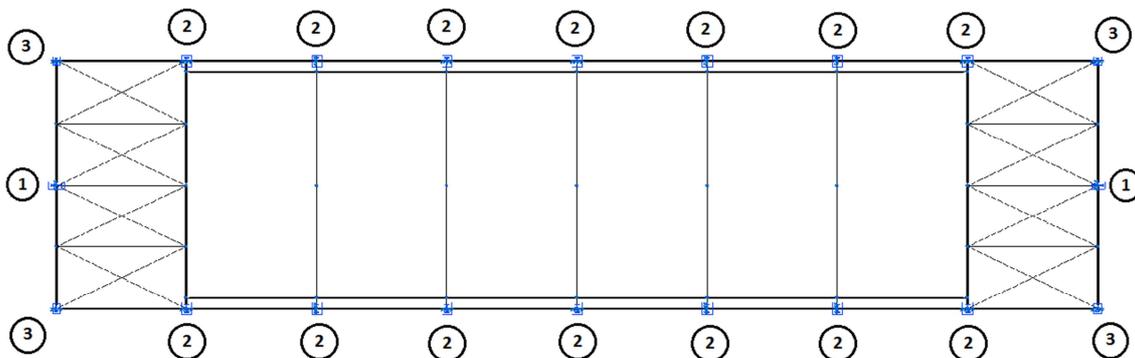


Figura 13. Disposición de los tipos de placas de anclaje

A continuación se resumirá brevemente cada tipo de unión:

- Placas de anclaje Tipo1:

Tabla 5. Medidas placas de anclaje tipo 1

Placa Base (mm)	Cartelas (paralelas eje Y) (mm)	Pernos
Ancho X: 450	Ancho: 200	6Ø25 mm
Ancho Y: 750	Canto: 80	Longitud: 60 cm
Espesor: 25	Espesor: 9	Gancho a 180°

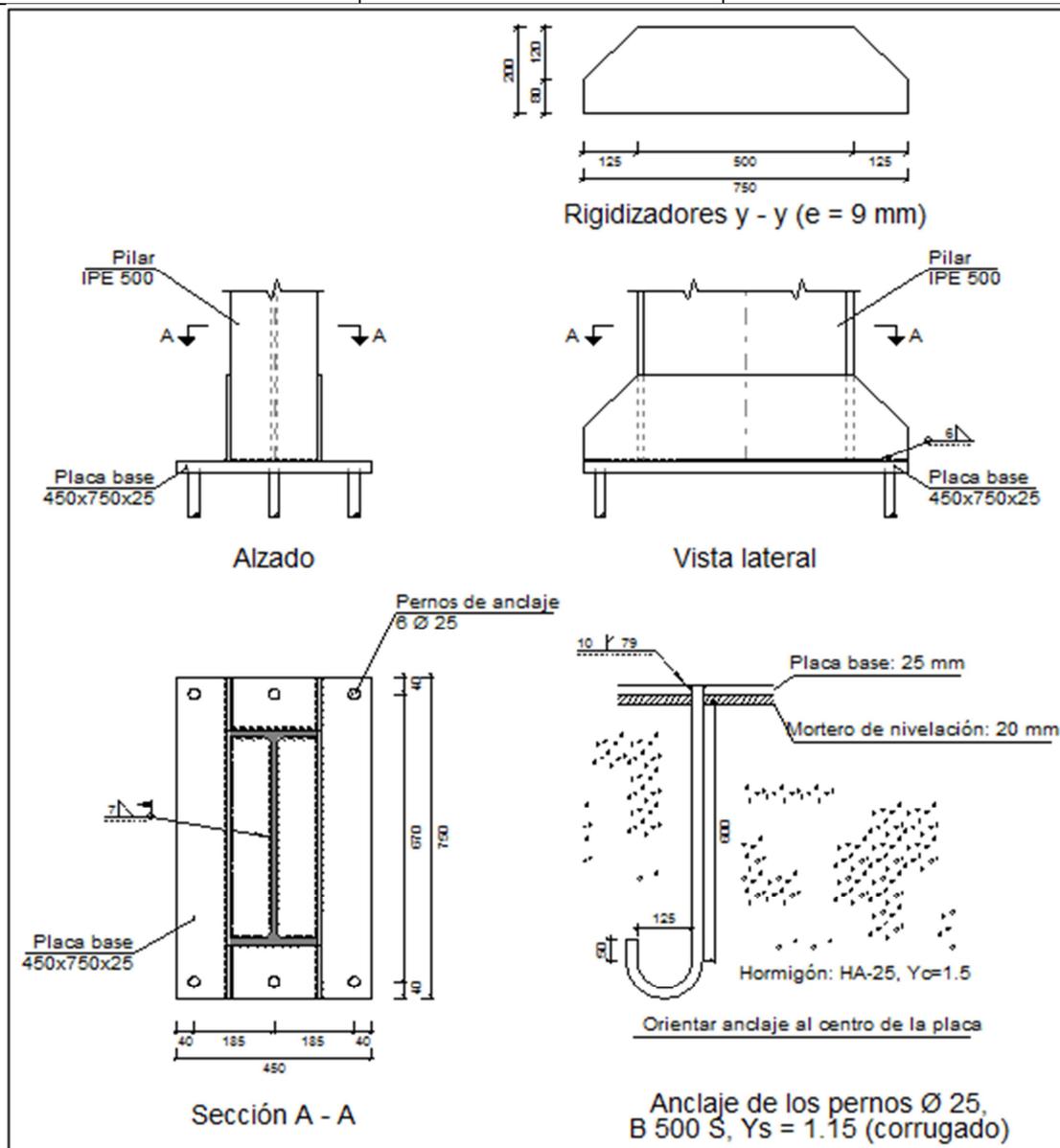


Figura 14. Placa de anclaje tipo 1

- Placas de anclaje Tipo2:

Tabla 6. Medidas placas de anclaje tipo 2

Placa Base (mm)	Cartelas (paralelas eje Y) (mm)	Pernos
Ancho X: 450	Ancho: 200	6Ø25 mm
Ancho Y: 700	Canto: 75	Longitud: 65 cm
Espesor: 25	Espesor: 9	Gancho a 180°

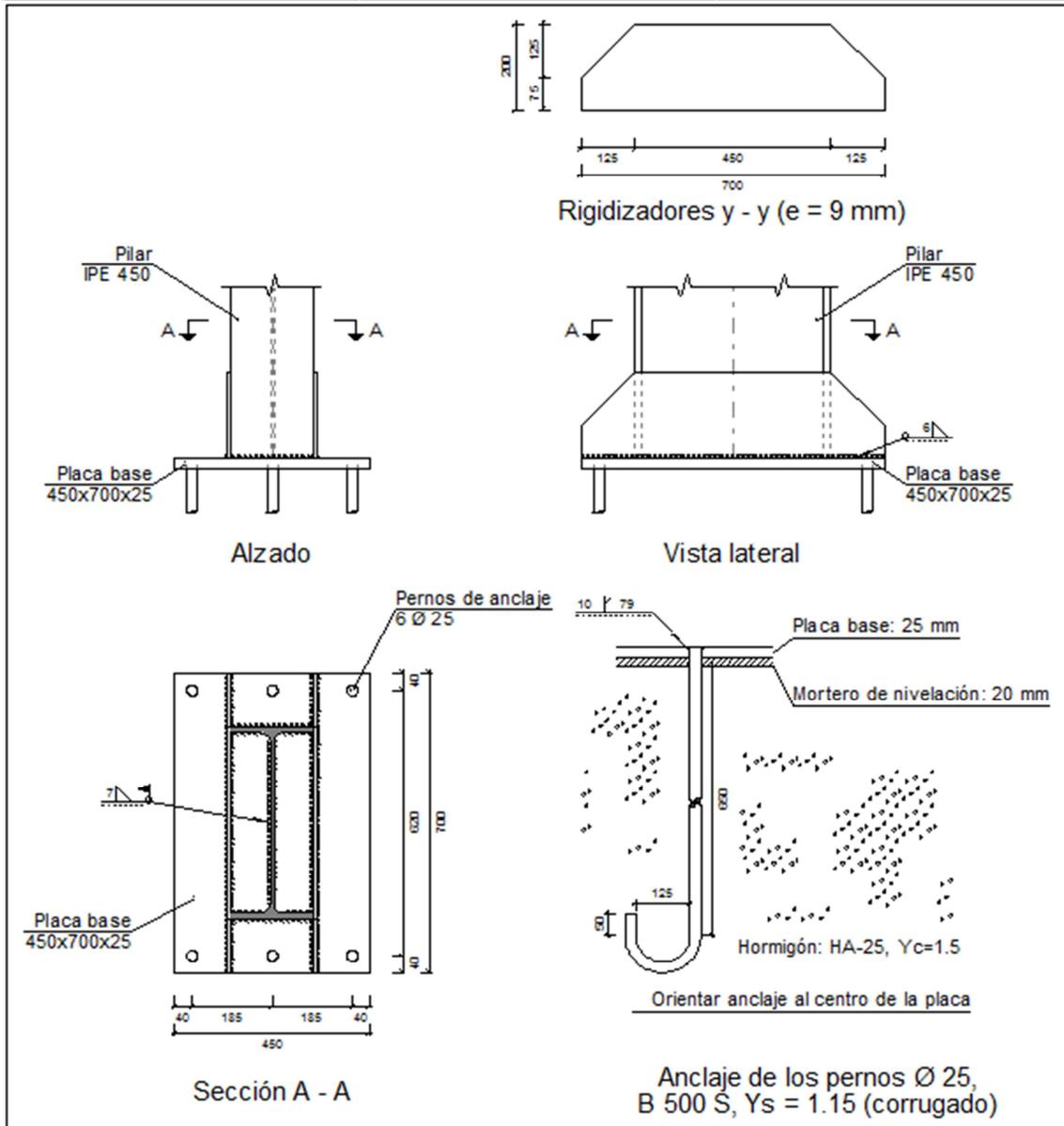


Figura 15. Placa de anclaje tipo 2.

- Placas de anclaje Tipo3:

Tabla 7. Medidas placas de anclaje tipo 3.

Placa Base (mm)	Cartelas (paralelas eje Y) (mm)	Pernos
Ancho X: 350	Ancho: 100	4Ø20 mm
Ancho Y: 550	Canto: 20	Longitud: 60 cm
Espesor: 20	Espesor: 5	Gancho a 180°

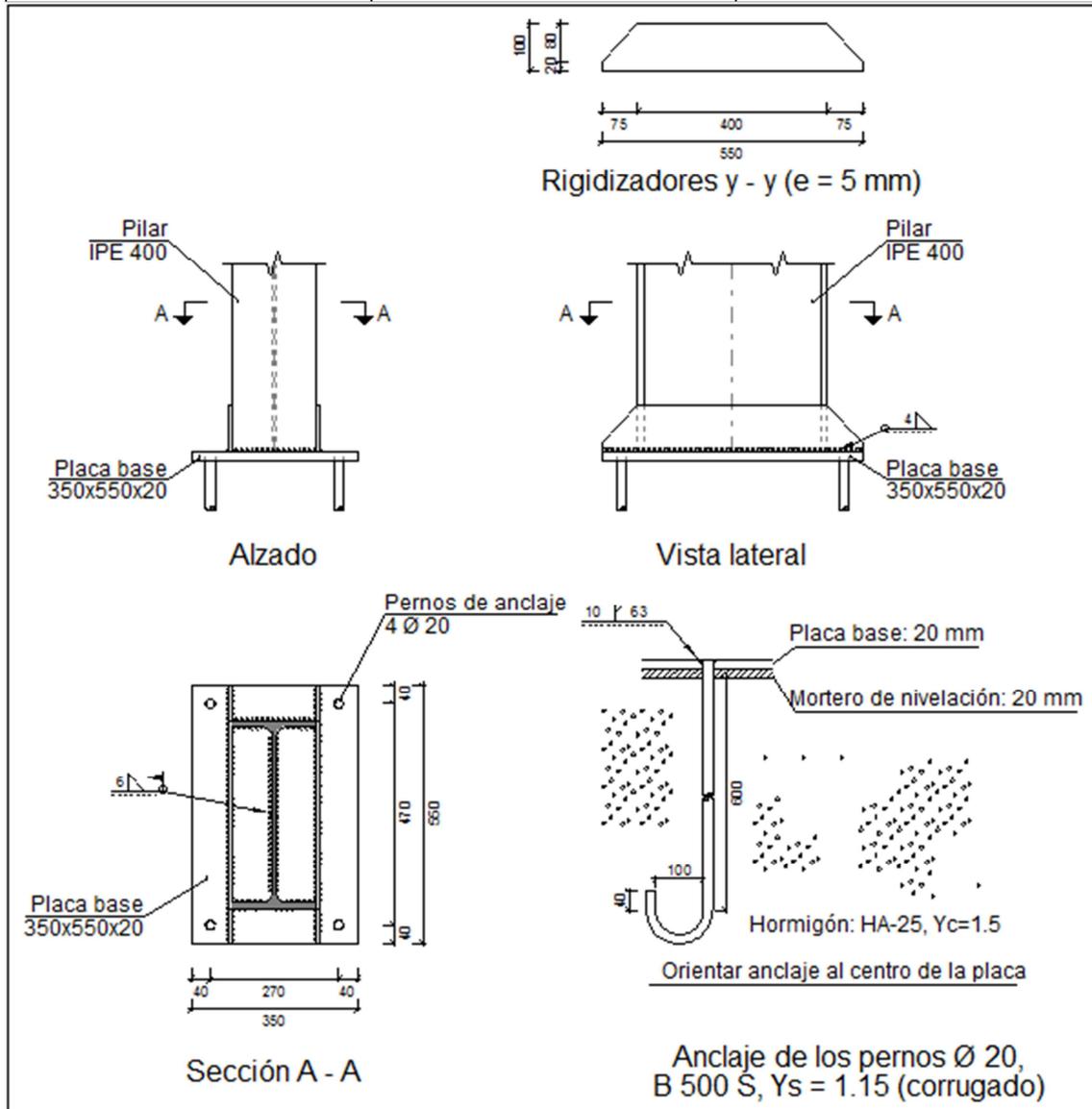


Figura 16. Placa de anclaje tipo 3.

### 1.8.10 Cimentación

La cimentación se ha realizado mediante zapatas aisladas con geometría rectangular excéntrica unidas mediante vigas de atado. Las zapatas son bloques de hormigón armado, cuya misión es transmitir las cargas de la edificación al suelo. Además estas cumplen con las limitaciones de deslizamiento, vuelco y tensión admisible del terreno.

La Figura 17 hace referencia al plano de cimentación de la estructura, y a continuación se pueden ver los diferentes tipos de zapatas obtenidos:

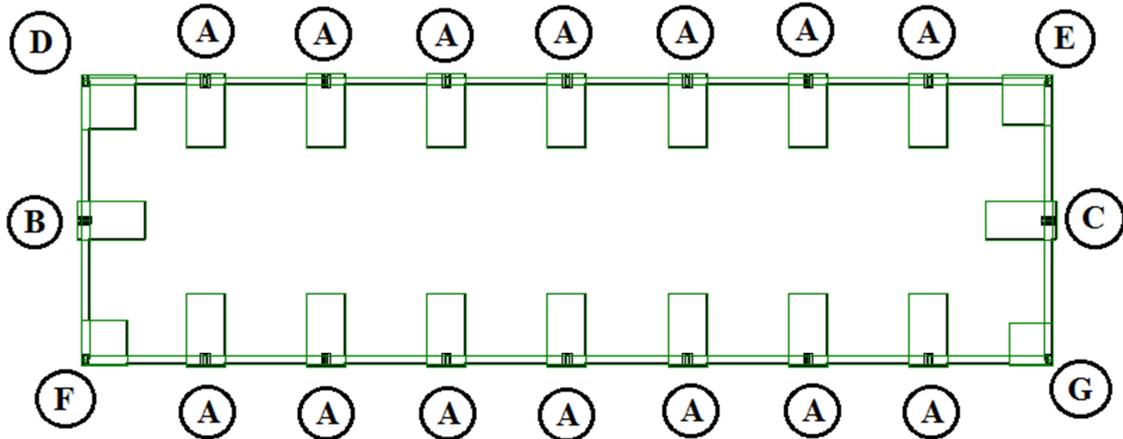


Figura 17. Plano planta de la cimentación

- **Zapatas**

Se han obtenido 7 tipos de zapatas diferentes correspondientes a las letras A, B, C, D, E, F, G como se puede ver en la Figura 17.

Las zapatas D y E son prácticamente idénticas por simetría de la nave, al igual que las zapatas F y G.

Las zapatas Tipo A corresponden a los pilares de fachada lateral. Se ha optado por una zapata rectangular excéntrica, con excentricidad hacia el interior de la nave, ya que existen naves adosadas en los laterales.

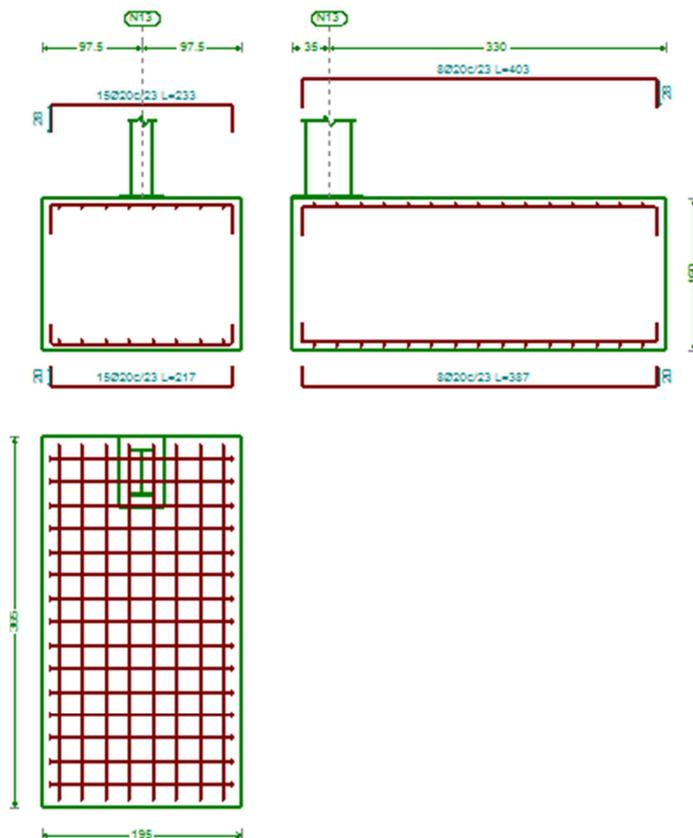


Figura 18. Zapata Tipo A

### Tipo B

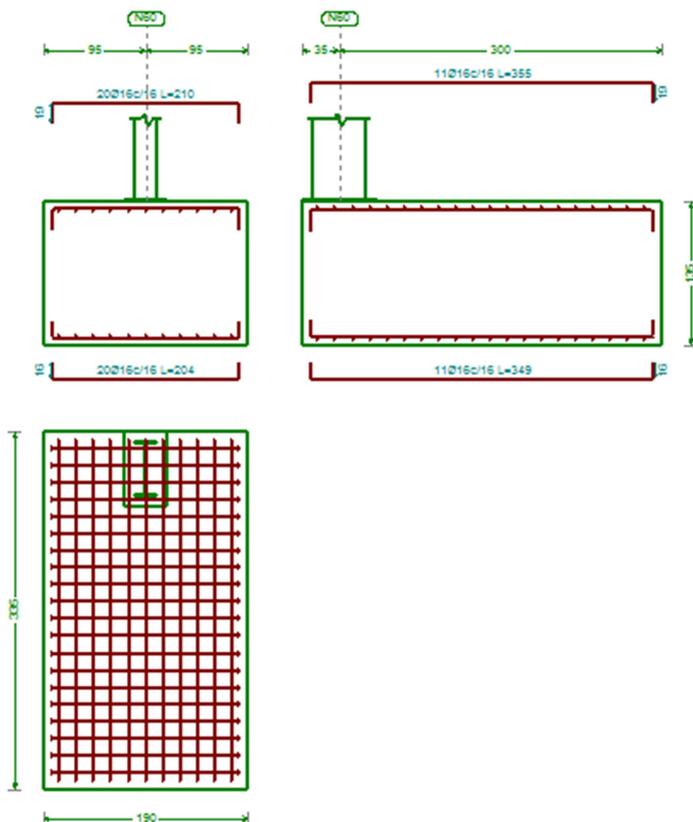


Figura 19. Zapata Tipo B

### Tipo C

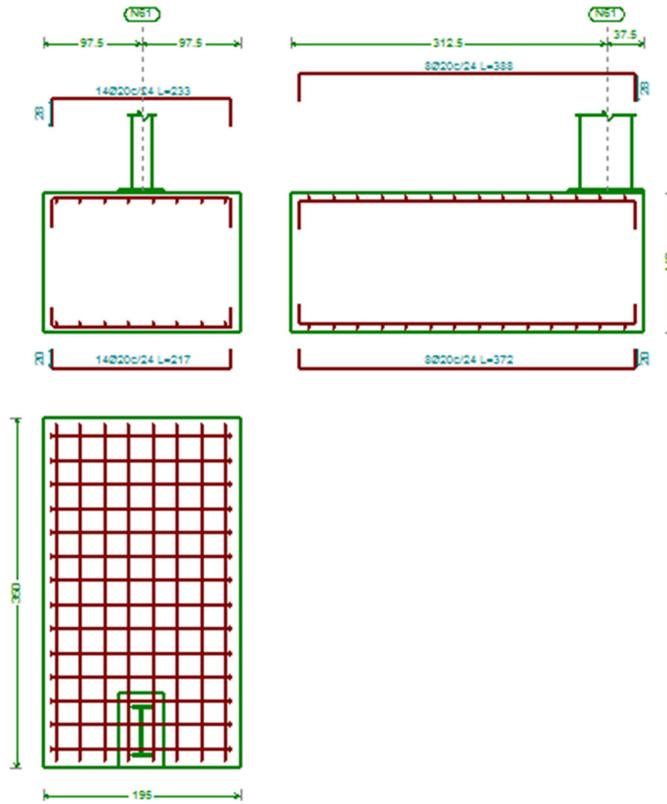


Figura 20. Zapata Tipo C

### Tipo D

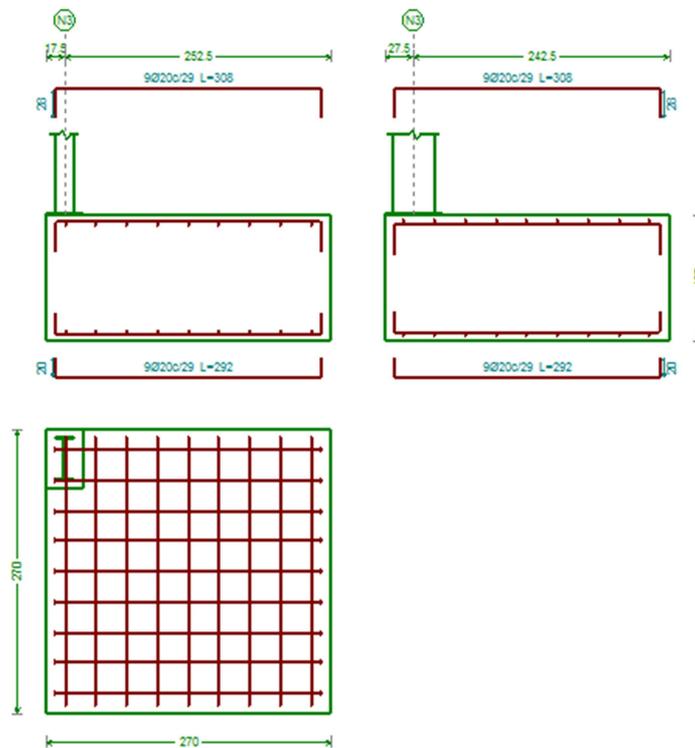


Figura 21. Zapata Tipo D

### Tipo E

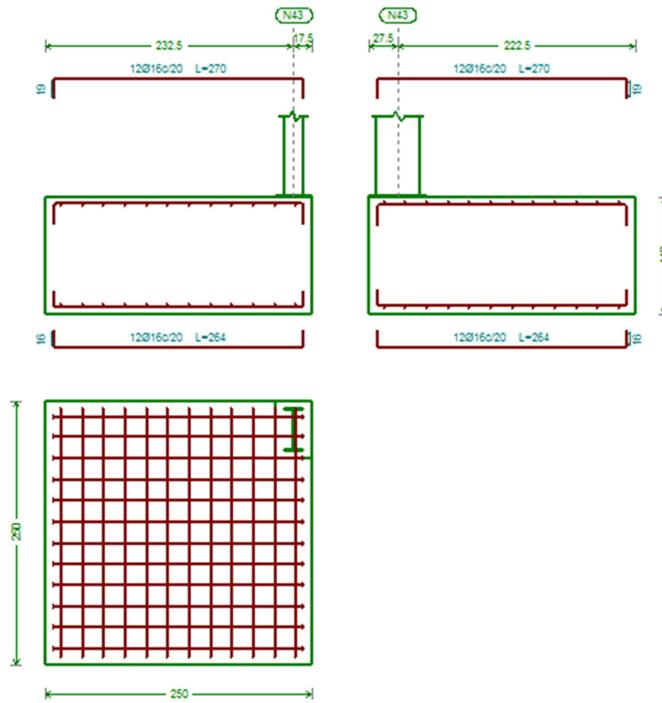


Figura 22. Zapata Tipo E

### Tipo F

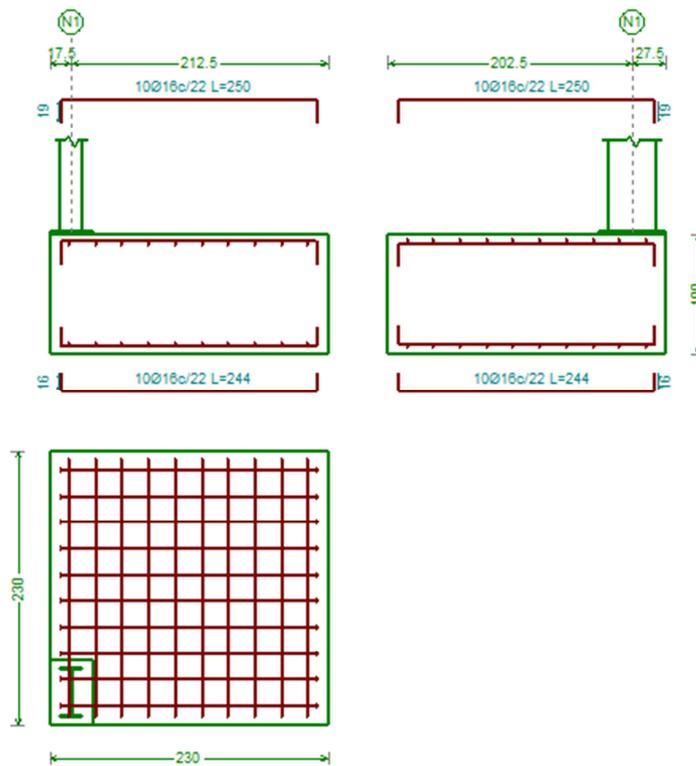


Figura 23. Zapata Tipo F

## Tipo G

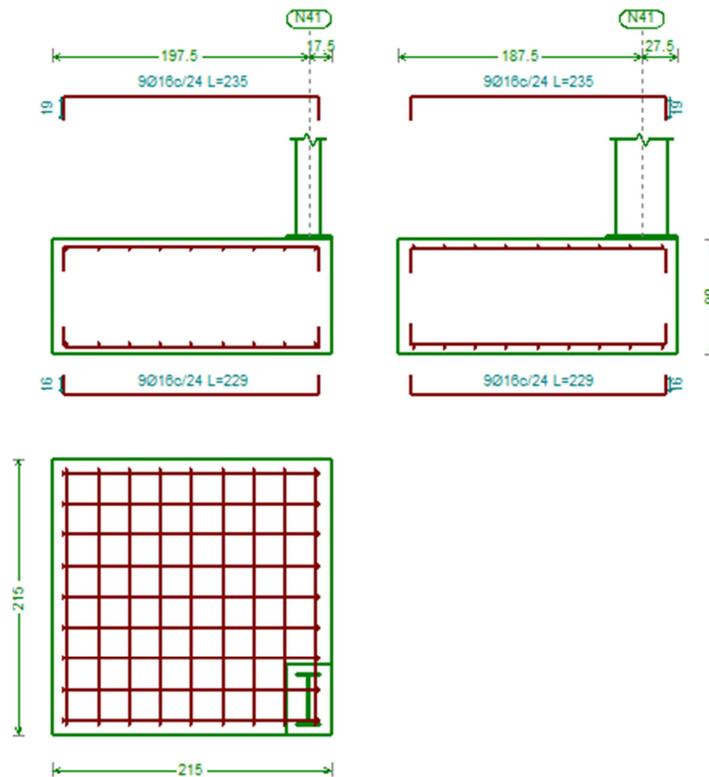


Figura 24. Zapata Tipo G

- **Vigas de atado**

Las vigas de atado son elementos de hormigón armado que unen dos zapatas. Su función es evitar desplazamientos horizontales relativos entre dos zapatas y absorber así acciones horizontales.

Todas las vigas de atado de la presente nave tienen la misma geometría y armado, se diferenciarán en su longitud, ya que dependerá de la distancia de atado entre las zapatas. En este caso se diferenciarán dos longitudes en las vigas de atado. Una de 6 metros para aquellas que unen los pórticos, es decir, la distancia de la crujía. La otra distancia será de 7 metros, destinada a unir las zapatas de los pilares de los pórticos de fachada.

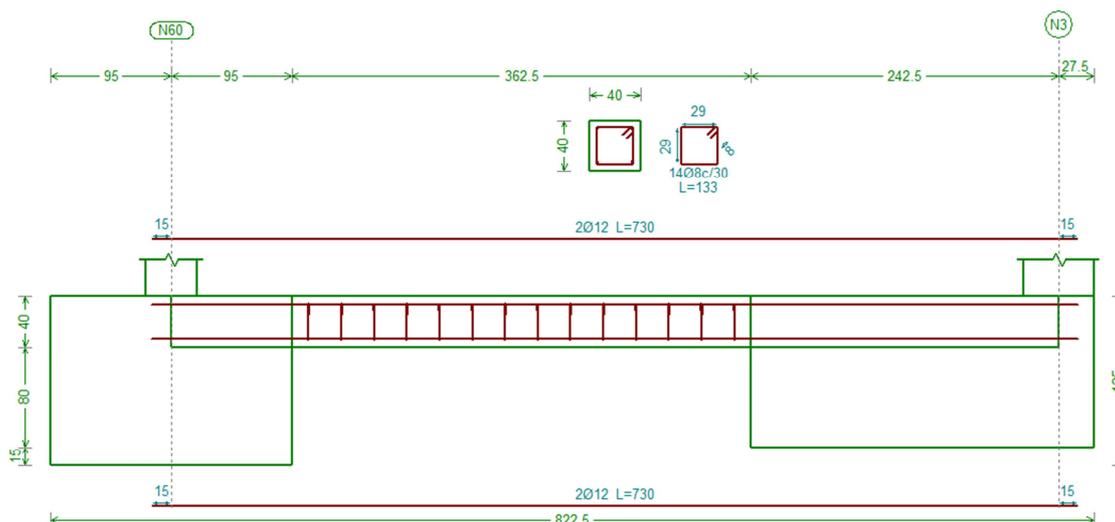


Figura 25. Perfil de las Vigas de atado

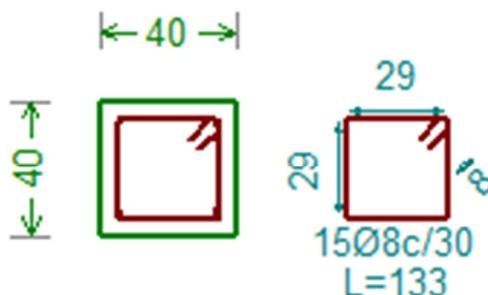


Figura 26. Sección transversal de las vigas de atado

### 1.8.11 Puente grúa

La nave diseñada dispone de un puente grúa capaz de elevar y transportar cargas de hasta 5T. Se trata de un puente grúa birraíl y cuenta con una altura máxima de 7,5 metros. Su recorrido se extiende a lo largo de la nave, cubriendo una longitud de 48 metros. Esto permitirá la manipulación de grandes cargas ofreciendo la máxima precisión y seguridad de movimientos en el interior de nuestra nave.

El puente grúa se montará sobre ménsulas dispuestas en los pilares de cada pórtico interior, tal y como se ha visto en las figuras anteriores y cuya disposición puede observarse con detalle en el anexo de Planos. Las ménsulas estarán dispuestas horizontalmente a una altura de 7,5 metros desde el nivel del suelo. De este modo, el tránsito y el trabajo sobre el suelo de la nave podrán efectuarse sin estorbos y con total seguridad, ya que no se verá afectado por el puente grúa.



Figura 27. Puente grúa. Fuente: Catálogo GH

### 1.8.12 Solera

Las soleras son elementos no estructurales destinados a proporcionar un firme horizontal en determinadas zonas de las edificaciones, ya sea como acabado o como base para recibir cualquier otro tipo de pavimento.

La solera de esta nave estará compuesta por un conjunto de elementos planos (losas) de hormigón en masa, apoyadas sobre un terreno (explanada).

En este caso se trata de una losa de hormigón en masa, que corresponde a una solera tipo A según establece la norma ACI 360R. Se trata de una norma americana ya que en España no se dispone de normativa específica para el diseño de las soleras.

El espesor de las losas se determina de modo que no se alcance la resistencia a flexotracción del hormigón bajo la acción de las cargas que actúan en la superficie.

El espesor mínimo que podrán tener las losas será de 15 centímetros, por lo que la losa de hormigón que se instalará en esta nave será de 20 centímetros y el hormigón será HM-25 ( $f_{ck}=25\text{MPa}$ ).

Estas losas están conectadas entre sí mediante elementos llamados juntas. La disposición de las juntas permite controlar los cambios dimensionales debido a los cambios de la temperatura y la retracción del hormigón. Una mala disposición puede ocasionar gran variedad de defectos como fisuración excesiva, alabeos, levantamientos, etc.

En este caso, se dispondrá el máximo número de juntas para que el hormigón en masa sea el que soporte por sí solo, sin necesidad de armado, las tensiones de tracción que se produzcan.

Dentro de la norma ACI-360R, se utilizará el método PCA (Portland Cement Academy) para dimensionar las diferentes juntas que se necesitarán en la solera de la nave:

Las juntas de contracción se utilizan con el fin de localizar y tener controlada la fisuración producida por las tracciones debidas a la retracción del hormigón. Se dispondrán paneles de dimensiones 3.5x3 metros como se puede ver en la figura 28 en color rojo.

Las juntas de construcción aparecen a consecuencia de la interrupción en el proceso de hormigonado y se encuentran en los límites del área hormigonada. En esta nave se instalarán paneles de 3,5x6 metros, como se puede ver en la figura 28 en color verde, unidos entre ellos por pasadores.

Las juntas de encuentro se utilizan para independizar a la solera, estructuralmente hablando, del resto de elementos del edificio para permitir movimientos diferenciales horizontales y verticales.

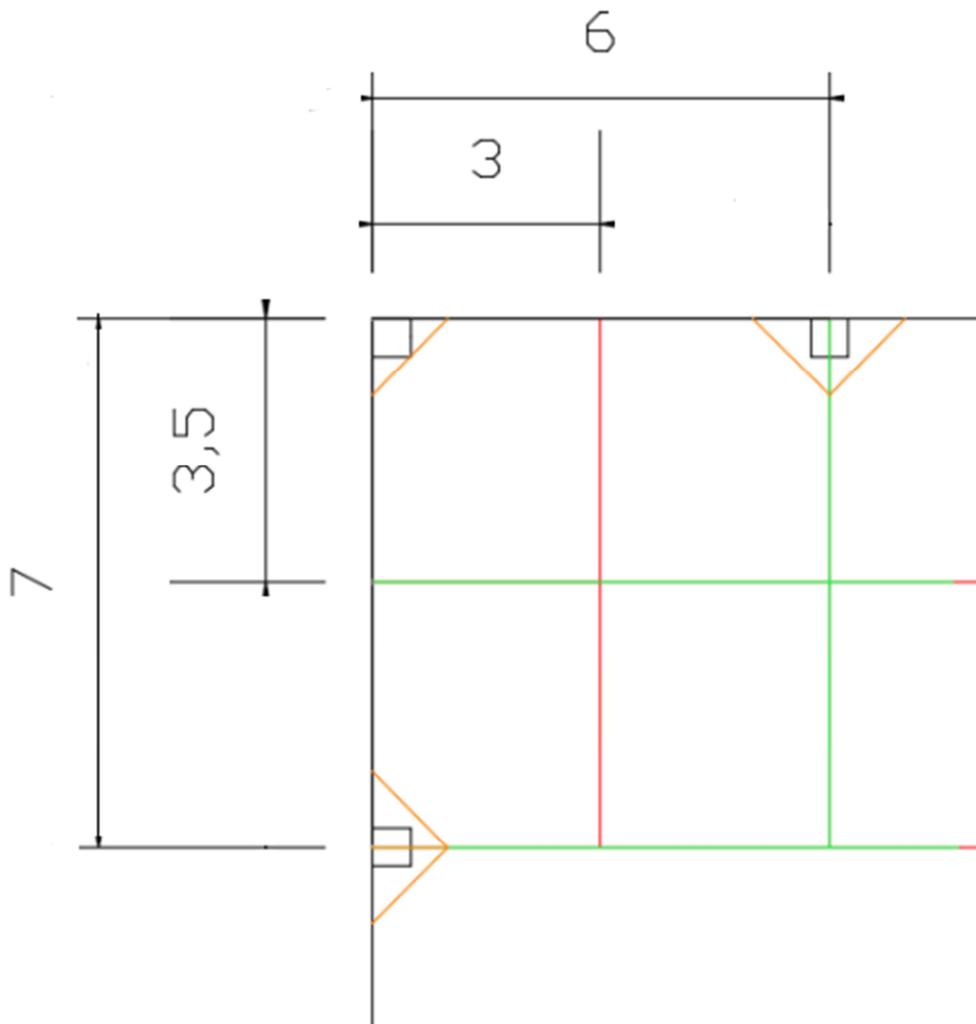


Figura 28. Disposición de las juntas (cotas en m.)

## 1.9 Resultados finales

En este apartado se proporcionarán los resúmenes de las comprobaciones de medición.

Tabla 8. Resumen mediciones de barras

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	IPE	IPE 450	140.000			1.383			10858.12		
			IPE 330	194.995			1.221			9582.25		
			IPE 400	40.000			0.338			2653.30		
			IPE 240	28.284			0.111			868.14		
			IPE 300	8.400			0.045			354.76		
			IPE 500	22.000			0.255			2003.32		
					433.679			3.353			26319.89	
		Huecos cuadrados	#90x3	132.000			0.133			1046.29		
					132.000			0.133			1046.29	
			R 10	52.000			0.004			32.06		
			R 18	76.837			0.020			153.49		
			R 12	26.000			0.003			23.08		
			R 20	38.419			0.012			94.75		
			R 15	111.428			0.020			154.57		
		R	R 30	50.324			0.036			279.24		
					355.008			0.094			737.19	
		HEB	HE 140 B	72.000			0.310			2430.36		
			72.000			0.310			2430.36			
					992.687			3.890		30533.73		

- Resumen placas de anclaje

Tabla 9. Resumen mediciones placas de anclaje

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	4	350x550x20	120.89
		14	450x700x25	865.46
		2	450x750x25	132.46
	Rigidizadores pasantes	8	550/400x100/20x5	15.39
		4	750/500x200/80x9	38.16
		28	700/450x200/75x9	246.04
		Total		
B 500 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	16	Ø 20 - L = 660 + 228	35.06
		84	Ø 25 - L = 720 + 286	325.50
		8	Ø 25 - L = 670 + 286	44.18
		Total		

- **Elementos de cimentación**

Tabla 10. Resumen mediciones zapatas

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø16	Ø20	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: N18, N8, N13, N23, N28, N33 y N38		7x354.55	2481.85	7x10.68	7x0.71
Referencias: N36, N31, N26, N21, N16, N11 y N6		7x354.55	2481.85	7x10.68	7x0.71
Referencia: N3		292.97	292.97	8.75	0.73
Referencia: N1	171.53		171.53	5.29	0.53
Referencia: N41	145.00		145.00	4.16	0.46
Referencia: N43	222.51		222.51	6.88	0.63
Referencia: N60	278.20		278.20	8.59	0.64
Referencia: N61		335.84	335.84	9.55	0.68
Totales	817.24	5592.51	6409.75	192.69	13.63

- **Vigas de atado**

Tabla 11. Resumen mediciones vigas de atado

Referencias: C [N6-N11], C [N11-N16], C [N16-N21], C [N21-N26], C [N26-N31], C [N31-N36], C [N38-N33], C [N33-N28], C [N28-N23], C [N23-N18], C [N18-N13] y C [N13-N8]	B 500 S, Ys=1.15		Total
	Ø8	Ø12	
Nombre de armado			
Armado viga - Armado inferior	Longitud (m)	2x6.30	12.60
	Peso (kg)	2x5.59	11.19
Armado viga - Armado superior	Longitud (m)	2x6.30	12.60
	Peso (kg)	2x5.59	11.19
Armado viga - Estribo	Longitud (m)	15x1.33	19.95
	Peso (kg)	15x0.52	7.87
Totales	Longitud (m)	19.95	25.20
	Peso (kg)	7.87	22.38
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	21.95	27.72
	Peso (kg)	8.66	24.62
			33.28

## 1.10 Resumen del presupuesto

Tabla 12. Resumen del presupuesto

<b>Acondicionamiento del terreno</b>	18153.00 €
<b>Estructura metálica</b>	362376.76
<b>Puente Grúa</b>	40000.00 €
<b>Cimentación</b>	33599.45 €
<b>TOTAL</b>	<b>454129.21 €</b>

La obra asciende a una cantidad de CUATROCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO MIL CIENTO VEINTINUEVE EUROS CON VEINTIÚN CÉNTIMOS.

## 1.11 Bibliografía

- Apuntes de la asignatura EM1027 “Estructuras y construcciones industriales”.
- Código Técnico de la edificación (CTE)
- Manual Metal 3D
- Manual cálculo de soleras ACE-2015
- Catálogo puente grúa GH
- [www.constructalia.com](http://www.constructalia.com)
- [www.cype.es](http://www.cype.es)
- Catálogo carretillas elevadoras de la marca Jungheinrich
- Catálogo carretillas elevadoras de la marca Linde

## **2. ANEXO DE CÁLCULOS**

2.	ANEXO DE CÁLCULOS .....	31
2.1	Acciones que actúan sobre la estructura .....	33
2.1.1	Acciones permanentes .....	33
2.1.2	Acciones Variables.....	34
2.2	Pandeo .....	56
2.2.1	Jácena pórtico de fachada delantera y trasera .....	56
2.2.2	Jácena pórtico interior .....	56
2.2.3	Pilar central pórtico de fachada .....	56
2.2.4	Pilares de esquina.....	56
2.2.5	Pilares pórtico interior.....	56
2.2.6	Diagonales .....	57
2.2.7	Montantes .....	57
2.3	Límite de flecha .....	57
2.4	Comprobaciones ELU .....	57
2.4.1	Pilares .....	57
2.4.2	Jácenas .....	90
2.4.3	MONTANTES.....	124
2.4.4	DIAGONALES.....	134
2.4.5	CSA.....	136
2.5	PLACAS DE ANCLAJE .....	140
2.5.1	Placa de anclaje Tipo 1 .....	140
2.5.2	Placa de anclaje Tipo 2 .....	144
2.5.3	Placa de anclaje Tipo 3 .....	148
2.6	CIMENTACIONES .....	152
2.6.1	Vigas de atado .....	152
2.6.2	Zapatas .....	152
2.7	Solera.....	169

## 2.1 Acciones que actúan sobre la estructura

- Acciones Permanentes ( $G_k$ ): son aquellas que actúan sobre el edificio en todo instante con posición constante, aunque su magnitud puede ser constante o no.
- Acciones Variables ( $Q_k$ ): son aquellas que pueden actuar ocasionalmente o no sobre el edificio.

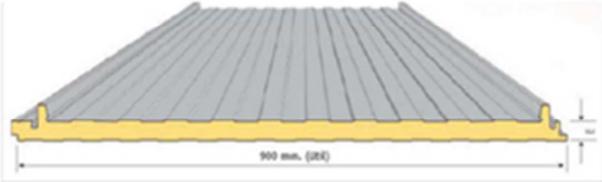
### 2.1.1 Acciones permanentes

Las acciones permanentes son acciones o cargas propias que no dependen del entorno exterior de la estructura. Dentro de este apartado, se tendrá en cuenta únicamente las fuerzas debidas al peso propio de la misma estructura y el peso del cerramiento.

Las acciones debidas al peso propio se pueden calcular como la suma de:

- Peso de la estructura (Se estima como Luz (m)/100  $\text{kN/m}^2$ )  $\rightarrow 0.14 \text{ kN/m}^2$
- Panel Sándwich ( $e=80 \text{ mm}$ )  $\rightarrow 0.13 \text{ kN/m}^2$

$$G = 0.14 + 0.13 = 0.27 \text{ KN} / \text{m}^2$$



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

Figura 29. Datos panel tipo Sándwich. Fuente: [www.construactualia.com](http://www.construactualia.com)

Para calcular las cargas lineales debidas al peso propio que actúan sobre la jácena del pórtico de fachada, se multiplicara la carga del peso propio obtenida por la mitad de la crujía, mientras que para el pórtico interior se multiplicara por la crujía.

$$g_{pf} = G \cdot \frac{\text{crujía}}{2} = 0.27 \cdot \frac{6}{2} = 0.81 \text{ kN} / \text{m} \rightarrow \text{pórtico.de.fachada}$$

$$g_{pi} = G \cdot \text{crujía} = 0.27 \cdot 6 = 1.62 \text{ kN} / \text{m} \rightarrow \text{pórtico.int erior}$$

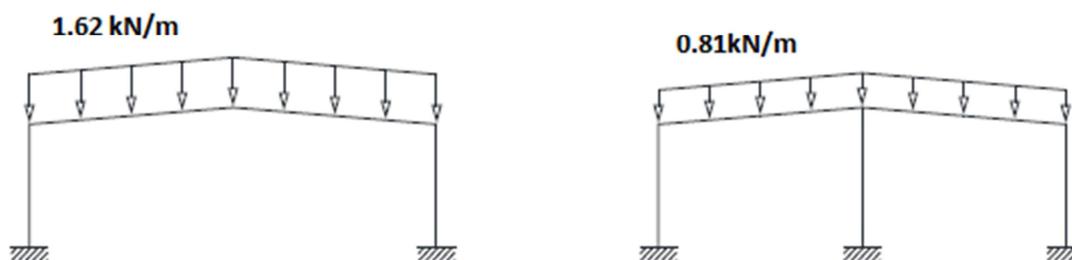


Figura 30. Cargas debidas al peso propio

## 2.1.2 Acciones Variables

Las acciones variables son aquellas que pueden actuar o no sobre el edificio, como las debidas al uso o las acciones climáticas. La mayoría de las acciones variables tienen su origen en aspectos climáticos (viento, nieve), y el valor de su carga es constante.

- **Sobrecarga de uso en cubierta**

La acción variable de sobrecarga de uso hace referencia al peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso.

La cubierta de la nave sólo será accesible para su conservación (categoría de uso G). Además, la cubierta de la nave industrial, formada por panel sándwich sobre correas, se considerará cubierta ligera y según lo establecido en el CTE, la subcategoría de uso es G1: cubierta ligera sobre correas (sin forjado). Por tanto, se tiene una categoría de uso G1 lo que implica una sobrecarga de uso o carga superficial uniforme de  $0.40 \text{ kN/m}^2$ , no pudiendo actuar simultáneamente con otras acciones variables.

Tabla 13. Valores característicos sobrecarga de uso. Fuente: CTE-DB-SE-AE

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

La sobrecarga de uso se calcula de la misma manera que se ha obtenido el resultado anteriormente:

$$q_{pf} = 0.4 \cdot \frac{6}{2} = 1.2 \text{ kN/m} \longrightarrow \text{pórtico.de.fachada}$$

$$q_{pi} = 0.4 \cdot 6 = 2.4 \text{ kN/m} \longrightarrow \text{pórtico.int erior}$$

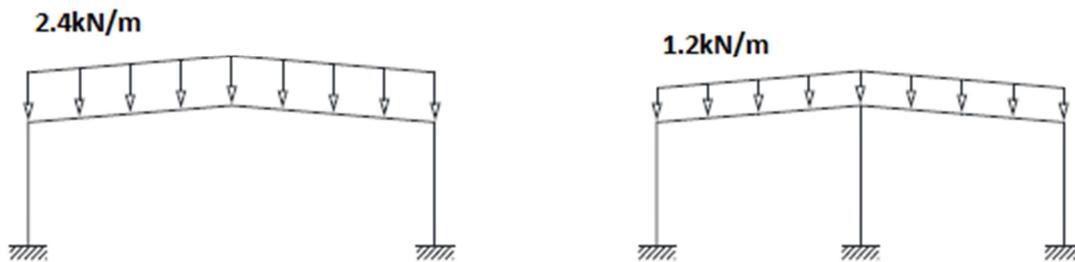


Figura 31. Cargas debidas a la sobrecarga de uso en cubierta

- **Sobrecarga de uso debida al puente grúa**

La instalación cuenta con un puente grúa con el que se podrá elevar cargas de hasta 5 toneladas. Los cálculos de la instalación del puente grúa se realizará en base a las especificaciones del fabricante, utilizando los datos que facilitan las tablas del catálogo de la marca GH.

En esta nave se va a instalar un puente grúa birraíl del fabricante GH capaz de elevar cargas hasta una altura de 7,5 metros a una velocidad de 8m/min.

Una vez elegido el puente grúa, se necesitará saber la longitud de las ménsulas en las que descansará el mismo. La longitud mínima de las ménsulas será la suma de la mitad del valor del mayor perfil del pilar, más la mitad del valor de la viga carrilera, más una distancia de seguridad fija de 0,2 metros impuesta por el fabricante.

Además también se sabe que la longitud máxima de la ménsula se obtiene de la suma de la longitud mínima de las ménsulas anteriormente mencionada más los valores  $b_1$  o  $b_2$  del catálogo.

Por tanto la longitud de las ménsulas será de 0,6 metros suficiente para poder apoyar la viga carrilera y dejar una distancia de seguridad entre el pilar y la viga carrilera.

El puente grúa descansará sobre la viga carrilera, a su vez esta se apoyará sobre unas ménsulas que son las que se llevarán las cargas del puente grúa, y estas las transmitirán a la estructura.

A continuación se realizarán los cálculos necesarios para entender el funcionamiento del puente grúa y determinar las cargas que la estructura deberá soportar. Posteriormente se trasladarán estas cargas al programa comercial CYPE Ingenieros.

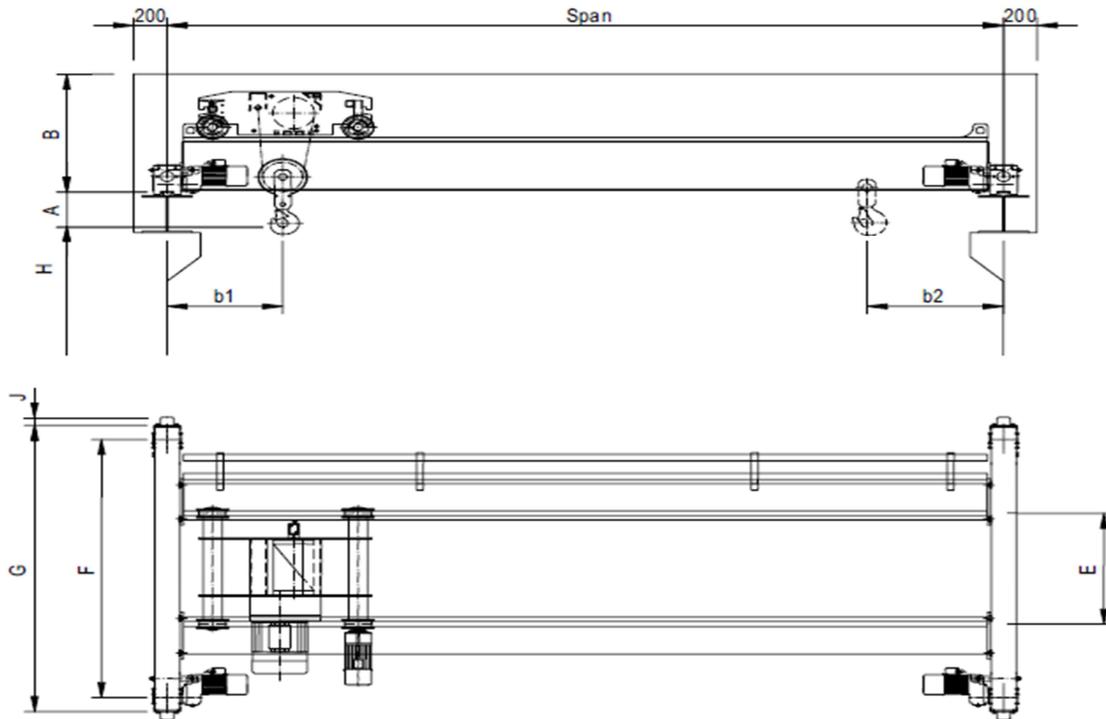


Figura 32. Representación Gráfica Puente Grúa. Fuente: Catálogo GH

Los casos que se pueden dar debidos al movimiento del puente grúa a lo largo de la nave son:

1. Únicamente una rueda del puente grúa, esté apoyada en un vano.
2. Las dos ruedas se encuentran apoyadas en el mismo vano.
3. Las dos ruedas del puente grúa estén apoyadas en dos vanos distintos.

Hay que tener en cuenta que para el modelo de cálculo se utilizarán vigas biapoyadas. Las vigas carrileras estarán apoyadas sobre las ménsulas de cada pórtico para poder soportar la carga del puente grúa.

#### 1º Caso

Este caso se dará cuando el puente grúa se encuentre en cualquiera de los extremos de la nave.

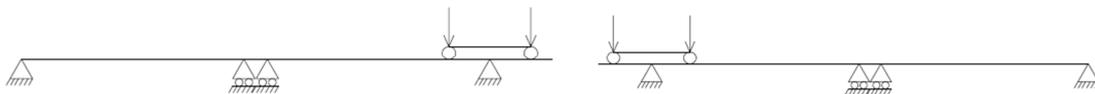


Figura 33. Posición derecha e Izquierda del puente grúa

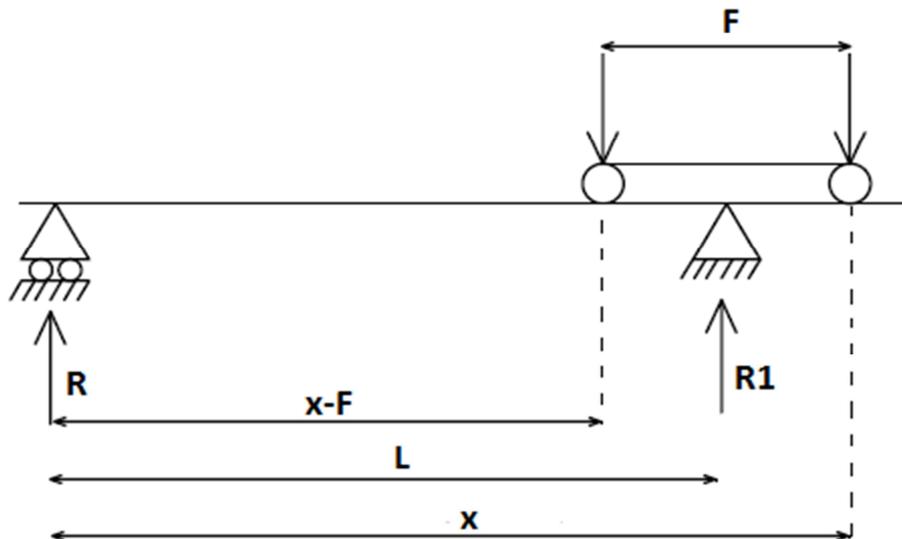


Figura 34. Representación Gráfica 1º Caso para Cálculo

$$L < x \leq L+F$$

$$\sum F_v = 0 \quad R_v = R + R_1$$

$$\sum M_N = 0 \quad R(x - F) = R_1 L$$

Despejando este sumatorio de fuerzas y momentos e igualando a 0 se obtiene la siguiente ecuación:

$$R = \frac{R_v}{L}(L - F - x)$$

En este caso cuando salgan las dos ruedas ( $x=L+F$ ) se tendrá la siguiente ecuación:

$$R = \frac{R_v}{L}(L + F - (L + F)) = 0$$

En el caso d que 'x' se aproxime a L se supondrá que  $x=L$ :

$$R = \frac{R_v}{L}(L + F - L) = \frac{R_v}{L} F$$

2º Caso

Este caso se dará cuando las dos ruedas del puente grúa se encuentran apoyadas en el mismo vano.

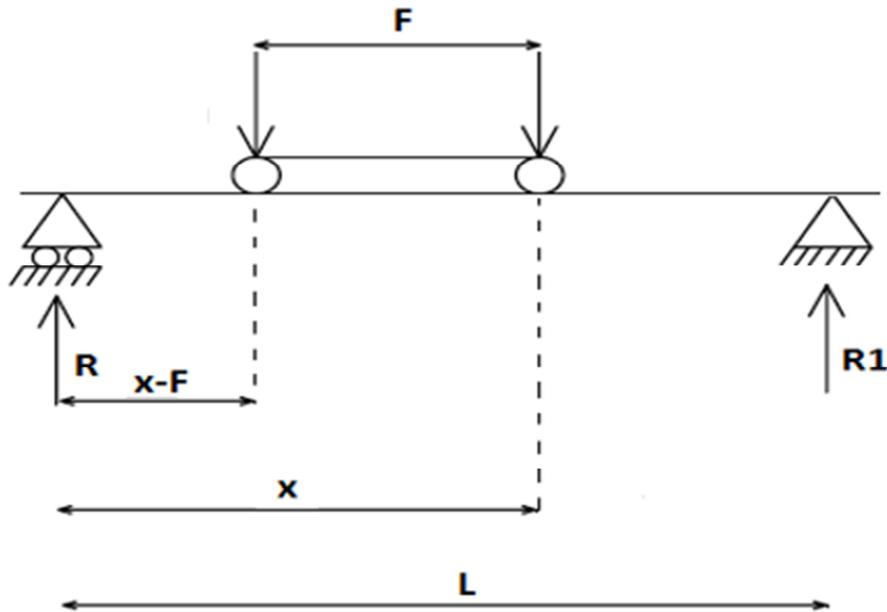


Figura 35. Representación Gráfica 2ºCaso para Cálculo

$$F < x \leq L$$

$$\sum F_v = 0 \quad 2R_v = R + R_1$$

$$\sum M_N = 0 \quad R_1 \cdot L = R_v \cdot x + R_v(x - F)$$

Como resultado de estas ecuaciones tendremos:

$$R = \frac{R_v}{L}(2L - 2x + F)$$

Cuando nuestra x se aproxime a L ( $x=L$ ) tendremos:

$$R = \frac{R_v}{L} F$$

Cuando nuestra x se aproxime a F ( $x=F$ ):

$$R = \frac{R_v}{L}(2L - F)$$

3º Caso

Este caso se dará cuando las dos ruedas del puente grúa estén apoyadas en dos vanos distintos.

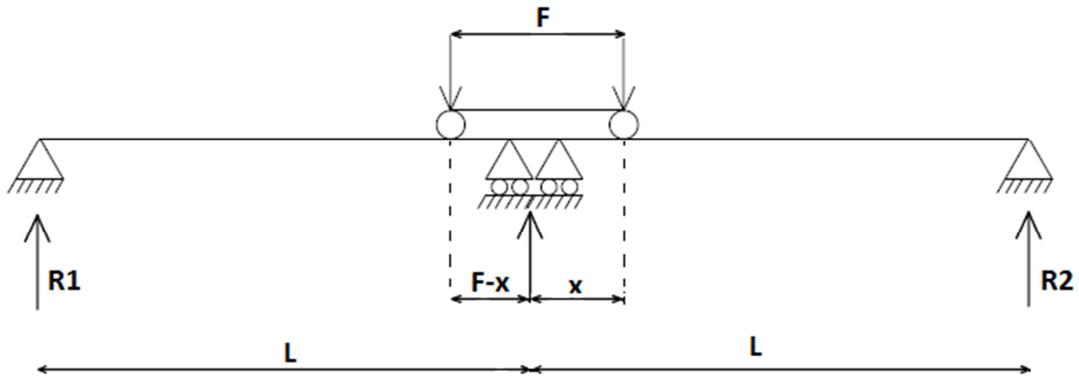


Figura 36. Representación Gráfica 3ºCaso para Cálculo

Separamos el sistema:

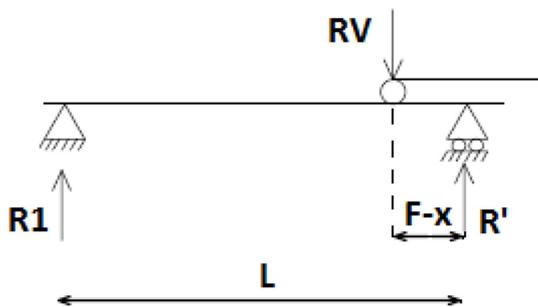


Figura 37. 1º tramo caso 3

$$\sum M=0 \quad R' L = R_V \cdot (L - (F - x))$$

$$R' = \frac{R_V}{L} (L - (F - x))$$

$$\sum M=0 \quad R'' L = R_V \cdot (L - x)$$

$$R'' = \frac{R_V}{L} (L - x)$$

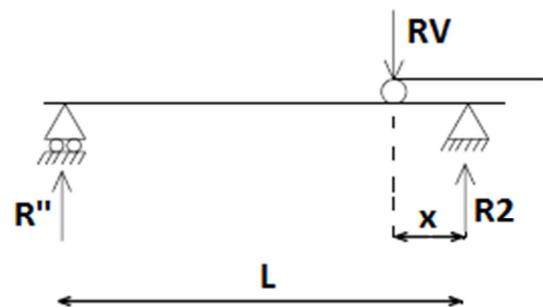


Figura 38. 2º tramo caso 3

$$R = R' + R''$$

$$R = \frac{Rv}{L}(L(L - F)) + \frac{Rv}{L}(L - x) = \frac{Rv}{L}(2L - F)$$

$$R = \frac{Rv}{L}(2L - F)$$

Una vez se conocen las ecuaciones de las reacciones en los apoyos en los tres casos, se ve que en este tercer caso la ecuación no depende de 'x' y proporciona los valores más desfavorables, con mayor carga en los apoyos, así que se utilizará esta fórmula para el cálculo de las reacciones totales en los apoyos.

Para calcular el puente grúa en la nave se utilizarán las especificaciones impuestas por el fabricante. En este caso se ha elegido un puente grúa birraíl de la marca GH, capaz de elevar una carga de hasta 5 toneladas hasta una altura de 7,5 metros.

Tabla 14. Especificaciones Puente Grúa. Fuente: Catálogo GH.

Cap. Kg	Rail width mm	H m	hoists speed m/min	hoist	FEM GROUP AX   MX	Span mm	Camber 1/X mm	b1 mm	b2 mm	A mm	B mm	E mm	F mm	G mm	J mm	d mm	RV Max Kg	RV Min Kg	RT Max Kg	RF Kg			
3200	40x30	7,20	8	GHB-2/1	4   4	27000	750	638	637	-179	1185	1500	3600	3810	100	160	3768	2064	827	531			
						28000				*	*	1800	4200	4410			3866	2141	769	545			
						30000				-279	1285	*	*	*			4142	2413	873	584			
4000	40x30	6,70	4	GHB-4/1	4   5	11500	750	671	604	89	867	1800	3100	3310	80	125	2748	679	342	387			
						14500				-11	967						2952	853	439	416			
						18000				-111	1067						3203	1081	567	452			
						20000				-211	1167						3400	1270	656	479			
						21000				-229	1185						3486	1352	701	492			
						26000				*	*						3600	3840	4139	1990	880	584	
	27000	-329	1285	*	*	4331	2179	951	611														
	30000	*	*	4200	4440	4575	2417	964	645														
	40x30	7,60	GHD-2/1	4/6	711	797	11500	286	957	900	2100	2310	2796	670	470	394							
							14500	186	1057	*	*	*	3003	841	612	423							
							15500	86	1157	*	*	*	3117	945	672	439							
							18000	*	*	1200	2600	2810	3283	1079	671	463							
							19500	-14	1257	*	*	*	3452	1240	756	487							
							20000	-14	*	*	3100	3310	3494	1279	675	493							
	40x30	7,00	8	GHD-4/2	4   5/6	19500	750	712	796	-103	*	*	*	*	80	125	3466	1240	759	489			
										23000	-32	1275	*	*	3340	4005	1777	870	565				
										26000	*	*	1500	3600	3840	4249	1997	903	599				
										27000	-132	1375	*	*	*	4441	2186	975	626				
30000										*	*	1800	4200	4440	4706	2423	992	664					
10500										89	867	3100	3310	80	125	3180	660	370	448				
5000	40x30	6,70	4	GHB-4/1	4   5	750	671	604	-111	967	1800	3100	3310	80	125	3386	823	476	477				
									16000	-111						1067	*	*	3581	995	576	505	
									16500	-129						1085	*	3340	3637	1046	599	513	
	50x30	7,60	8	GHD-2/1	4/6	15500	750	711	797	-229	1185	1800	3100	3340	100	160	3889	1279	735	548			
										23000	*						*	3600	3840	4417	1792	847	623
										27000	-329						1285	*	*	4824	2186	1059	680
	40x30	7,60	8	GHD-2/1	4/6	13500	750	711	797	386	957	900	2100	2310	80	125	3223	655	503	454			
										16500	286	1057	*	*	*	3603	959	777	508				
										16500	67	1175	1200	2600	2840	3711	1044	706	523				
										19500	-21	*	*	*	*	3725	1045	708	525				
										23000	-32	1275	*	*	*	3966	1276	868	559				
										27000	*	*	3100	3340	4496	1786	977	634					
50x30	7,60	8	GHD-2/1	4/6	19500	750	711	797	-132	1375	1500	3600	3840	100	160	4933	2194	1083	696				
									27000	-232	1475	1800	4200	4440	5333	2565	1124	752					
									30000														

La nave debe cumplir las siguientes especificaciones:

Luz = 14 metros

Altura del pilar ( $h_p$ ) = 10 metros

Altura de la viga carrilera ( $h_{VC}$ ) = 7,5 metros

Longitud de la nave = 48 metros

Crujía (L) = 6 metros

Primero se selecciona el puente grúa del catálogo necesario para elevar las baterías, teniendo en cuenta la capacidad de carga y la altura a la que se necesite el puente grúa. Por tanto, se selecciona el puente grúa con capacidad de 5 toneladas.

Como el puente grúa debe instalarse a una altura de 7,5 metros, en el catálogo elegirá la inmediatamente superior H=7,6m.

Para elegir la luz del puente grúa en el catálogo hay que tener en cuenta la distancia de seguridad que proporciona el fabricante y las dimensiones del pilar de la nave. Por tanto, la situación que se tiene es la que muestra la figura siguiente:

Luz nave=14 metros

Distancia de seguridad del fabricante=200 mm

Perfil de los pilares IPE450

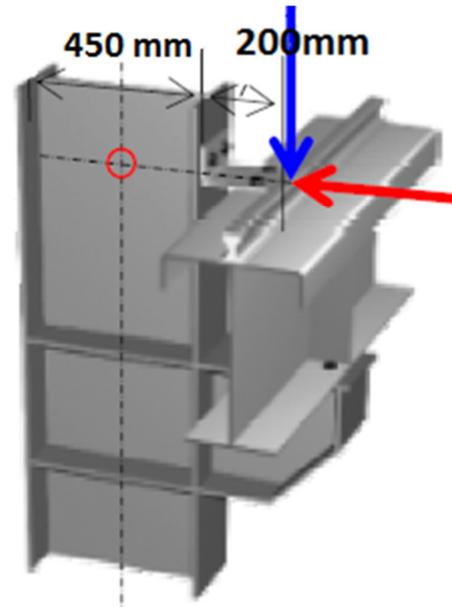


Figura 39. Apoyo Viga Carrilera sobre el pilar.  
Fuente: Apuntes EM1027

Para los pilares de la nave se usarán perfiles IPE, ya que son más eficientes a flexión, mientras que para la viga carrilera se ha elegido un perfil HE160, suficiente para apoyar el carril sobre el que se desplazará el puente grúa.

A continuación se calculará la luz que deberá tener el puente grúa para que su longitud no sea superior a la luz de la nave

$$L_{PG} = 14000 - 2 \cdot \left(200 + \frac{450}{2}\right) = 13150 \text{ mm}$$

Con este cálculo se elegirá en el catálogo la luz del puente grúa. En este caso se seleccionará la inmediatamente superior al cálculo,  $L_{PG}=13500\text{mm}$

A continuación se comprobará si el puente grúa se puede acoplar en la nave industrial:

La altura del pilar tendrá que ser mayor que la altura de la viga carrilera ( $h_{VC}$ ) más la altura del puente grúa ( $B$ ), ( $h_P > h_{VC} + B$ )

Por tanto:

$$10000 \text{ mm} > (7500 + 1057) = 8557 \text{ mm}.$$

Después de este cálculo se observa que la altura del pilar (10000 mm) será mayor que la suma de la altura donde se quieren instalar las ménsulas (7500 mm) más la altura del puente grúa (1057 mm).

Con las cargas proporcionadas por el fabricante del puente grúa se calculará la situación más desfavorable:

Datos del catálogo:

Separación entre las ruedas del puente grúa.  $\rightarrow F=2100 \text{ mm}$

Crujía.  $\rightarrow L=6000$  mm

Reacciones proporcionadas por el catálogo  $\rightarrow R$

Reacciones verticales totales máximas:

$$R_{VT_{\max}} = \frac{R}{L}(2L - F) = \frac{3434}{6000} \cdot (2 \cdot 6000 - 2100) = 5666.1 \text{ kilos} \rightarrow 55.584 \text{ KN}$$

Reacciones verticales totales mínimas:

$$R_{VT_{\min}} = \frac{R}{L}(2L - F) = \frac{814}{6000} \cdot (2 \cdot 6000 - 2100) = 1343.1 \text{ kilos} \rightarrow 13.175 \text{ KN}$$

Reacciones horizontales:

$$R_H = \frac{R}{L}(2L - F) = \frac{658}{6000} \cdot (2 \cdot 6000 - 2100) = 1085.7 \text{ kilos} \rightarrow 10.65 \text{ KN}$$

Reacciones de frenado:

$$R_F = \frac{R}{L}(2L - F) = \frac{484}{6000} \cdot (2 \cdot 6000 - 2100) = 798.6 \text{ kilos} \rightarrow 7.834 \text{ KN}$$

Estas reacciones se introducirán al programa de cálculo como cargas puntuales con varias hipótesis de cálculo. Para entender mejor la posición donde se colocarán estas reacciones sobre la estructura, se adjuntan varias imágenes con las diferentes hipótesis que se han introducido al programa. La figura 40 muestra las reacciones obtenidas anteriormente sobre las ménsulas cuando el puente grúa está en el lado derecho de la nave, mientras que la figura 41 muestra las reacciones cuando el puente grúa se encuentra en la parte izquierda.

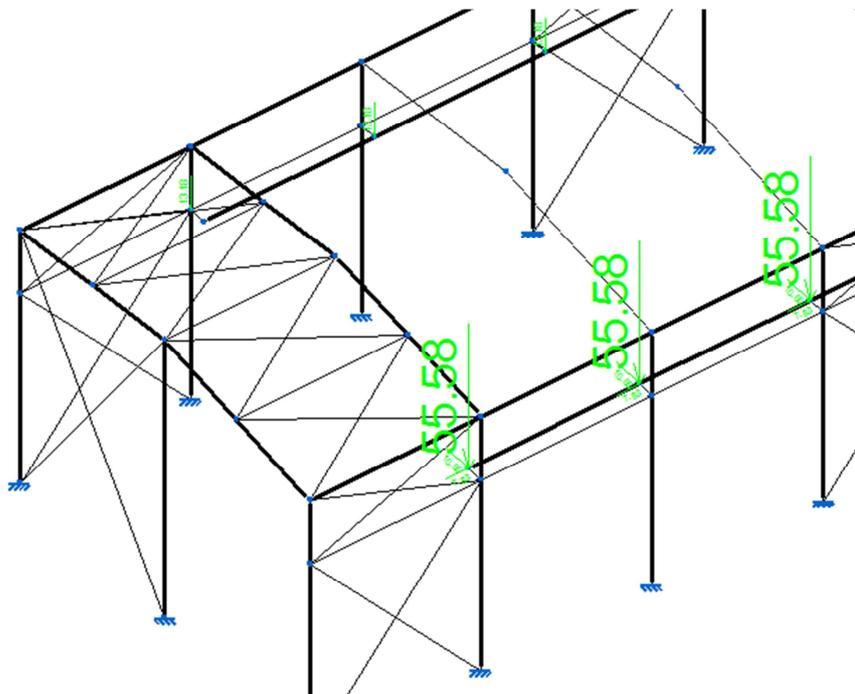


Figura 40. Reacciones cuando el puente grúa está en la parte derecha

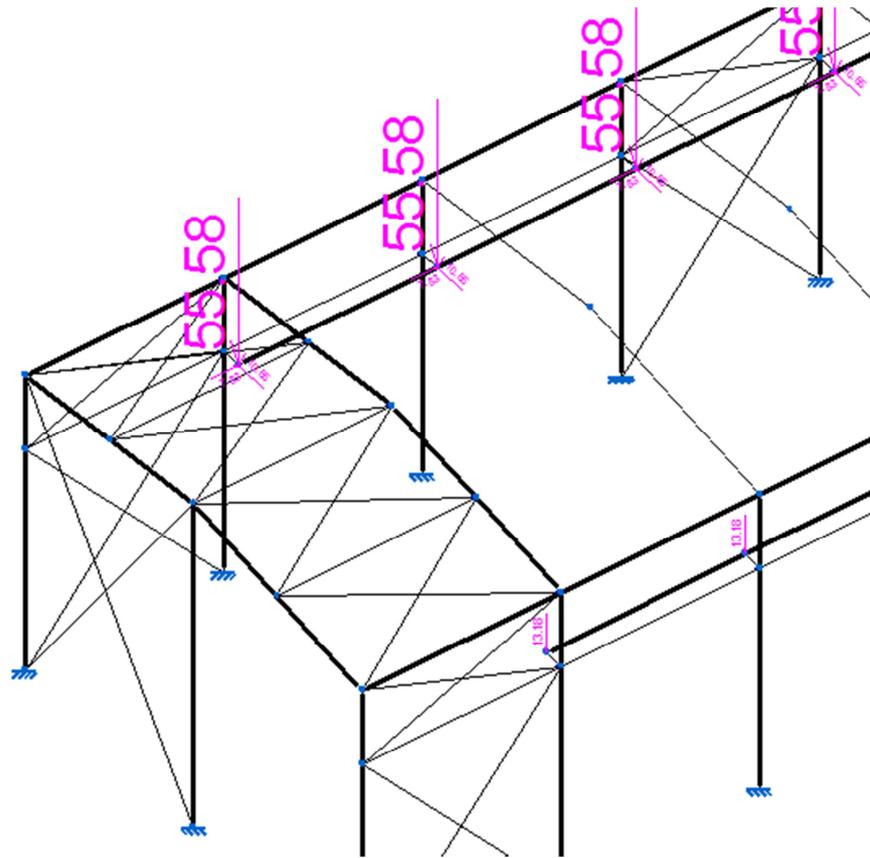


Figura 41. Reacciones cuando el puente grúa está en la parte izquierda

- **Sobrecarga debida a la nieve**

Estas cargas son debidas al peso de la nieve que pueda acumularse sobre la estructura. La acción provocada por la nieve depende principalmente de la zona geográfica en la que se construye la nave industrial y de la forma e inclinación de la cubierta.

El valor de la sobrecarga debida a la nieve queda definido por la siguiente fórmula:

$$Q_n = \mu(\alpha) \cdot s_k$$

$q_n$  → Carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal.

$\mu$  → Coeficiente de forma de la cubierta.

$s_k$  → Valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal.

El coeficiente de forma de la cubierta depende de su inclinación, siempre que en el faldón calculado no exista impedimento al deslizamiento de la nieve.

En este caso la inclinación de la cubierta ( $\alpha$ ) es de  $8.13^\circ$ , así que se tendrá un coeficiente de forma ( $\mu$ ) igual a 1 como marca el CTE (“Para cubiertas con inclinación menor o igual que  $30^\circ$ , el coeficiente de forma será igual a 1”).

El valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal depende de la altitud y de la zona geográfica donde se encuentre la estructura, este parámetro se obtiene de estas dos figuras del CTE:



Figura 42. Zonas climáticas de invierno. Fuente: CTE-DB-SE-AE

Tabla 15. Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal. Fuente: CTE-DB-SE-EA

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	-	-	-	-	-

La estructura se encuentra situada en La Pobra Tornesa, provincia de Castellón, por lo tanto consultando la figura 42 se encuentra en la zona climática 5.

Además La Pobra Tornesa se encuentra situada a 298 metros de altitud por lo que si se unen los dos parámetros se obtiene el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal ( $s_k$ ).

$$s_k = 0.4 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$Q_n = 1 * 0.4 = 0.4 \text{ kN} / \text{m}$$

$$q_{n.pf} = 0.4 * \frac{6}{2} = 1.2 \text{ kN} / \text{m} \longrightarrow \text{pórtico.de.fachada}$$

$$q_{n.pi} = 0.4 * 6 = 2.4 \text{ kN} / \text{m} \longrightarrow \text{pórtico.int erior}$$

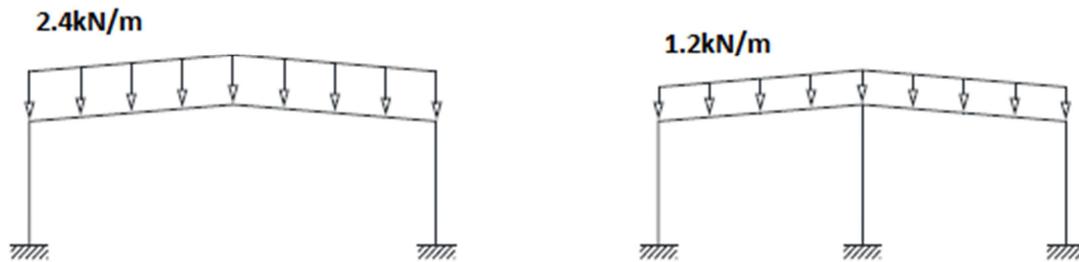


Figura 43. Cargas debidas a la sobrecarga de nieve

También se tendrán en cuenta las posibles distribuciones asimétricas de nieve, debidas al transporte de la misma por efecto del viento, reduciendo a la mitad el factor de forma en las partes en que la acción sea favorable.

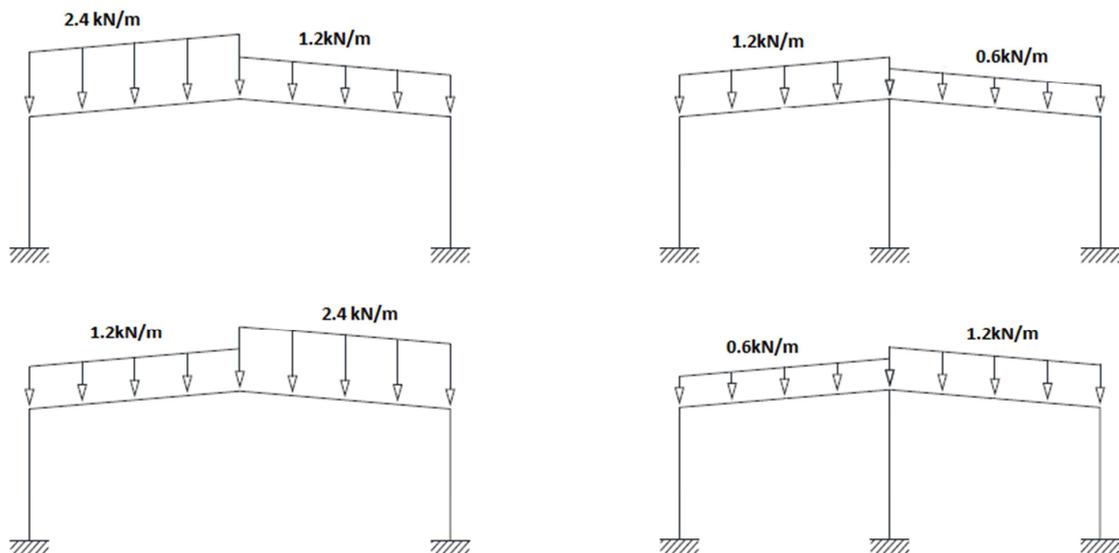


Figura 44. Cargas debidas al transporte de nieve debido al viento.

- **Sobrecarga de uso debida al viento exterior**

Las acciones dinámicas producidas por el viento se representan a través de fuerzas estáticas equivalentes. La acción del viento es, en general una fuerza perpendicular de la superficie de cada punto expuesto, o una presión estática,  $q_e$  se puede expresarse según la ecuación:

$$q_e = q_b \cdot c_{e_e} \cdot c_p$$

Donde:

$q_b$  → presión dinámica del viento.

$c_e$  → coeficiente de exposición, variable con la altura ( $z$ ).

$c_p$  → coeficiente de presión o coeficiente eólico.

A su vez,  $q_b = 0.5 \cdot \rho \cdot v_b^2$  donde la densidad del aire ( $\rho$ ) se puede aproximar a  $1.25 \text{ kg/m}^3$  y la velocidad básica del viento ( $v_b$ ) se obtiene de la figura 45.

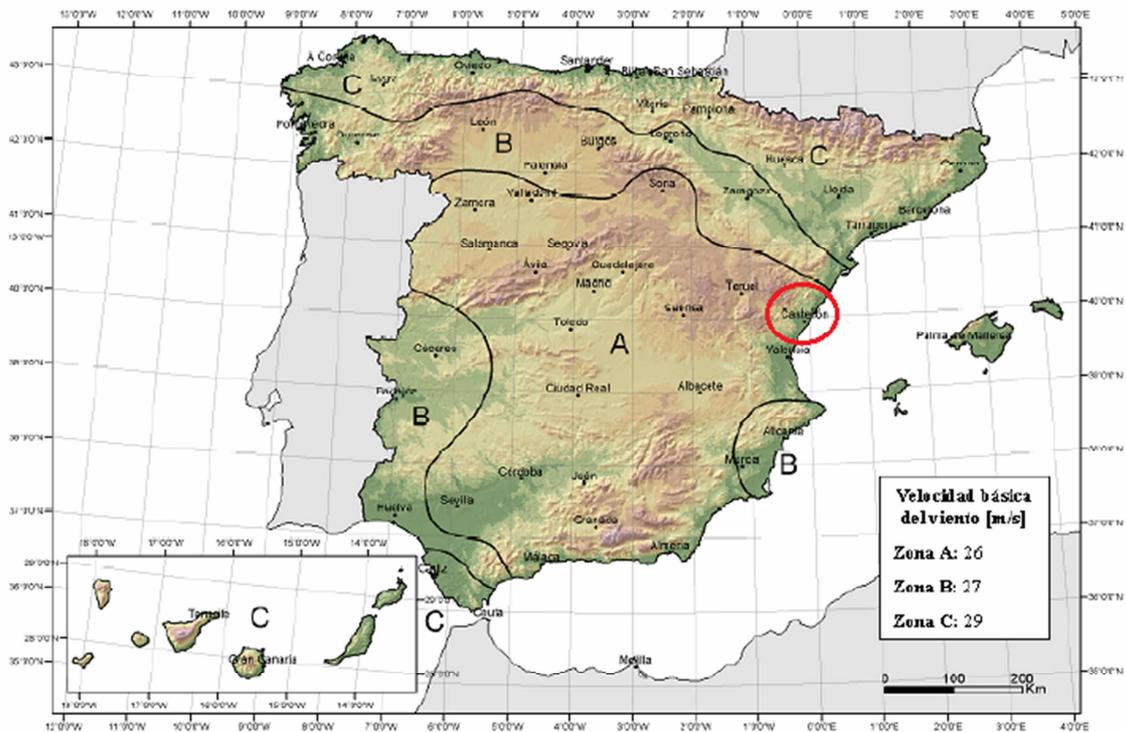


Figura 45. Valor básico de la velocidad del viento. Fuente: CTE-DB-SE-AE

La estructura se encuentra en la zona A, en la que le corresponde un valor para la velocidad básica del viento ( $v_b$ ) de  $26 \text{ m/s} \rightarrow 93.6 \text{ km/h}$ .

Por lo tanto la ecuación queda así:

$$q_b = 0.5 \cdot 1.25 \cdot 26^2 = 0.42 \text{ kN/m}^2$$

El coeficiente de exposición viene definido por las siguientes ecuaciones:

$$c_{e_e} = F(g, z) \cdot [F(g, z) + 7 \cdot k(g)]$$

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

$k(g)$  → Factor del terreno.

$L(g)$  → Longitud de la rugosidad ( $z_0$ ), que se interpreta como el tamaño del torbellino que se forma por fricción del aire con la superficie del terreno.

$z$  → Altura de cumbrera de la estructura, que para la nave será de 11 metros.

Tabla 16. Coeficientes para tipo de entorno. Fuente: CTE-DB-SE-AE

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,15	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

De la tabla se extraen los valores correspondientes a la zona IV, ya que la nave está situada en una zona industrial.

- $k(g) = 0.22$
- $L(g) = 0.3 \text{ metros}$
- $Z(g) = 5 \text{ metros}$

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores se obtiene  $c_e$ :

$$F(g, z) = 0.22 \cdot \ln\left(\frac{\max(11,5)}{0.3}\right) = 0.792$$

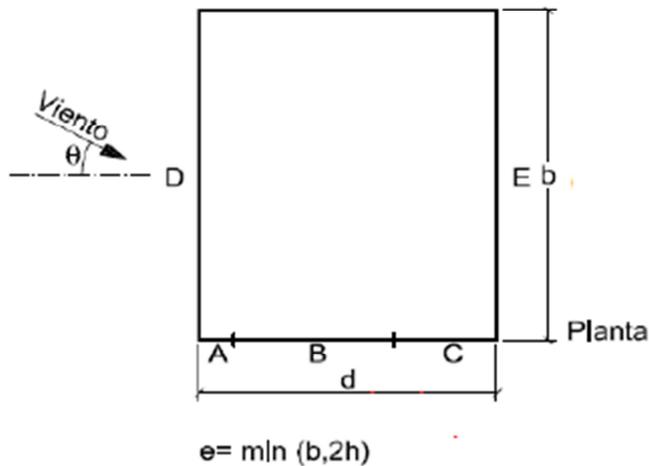
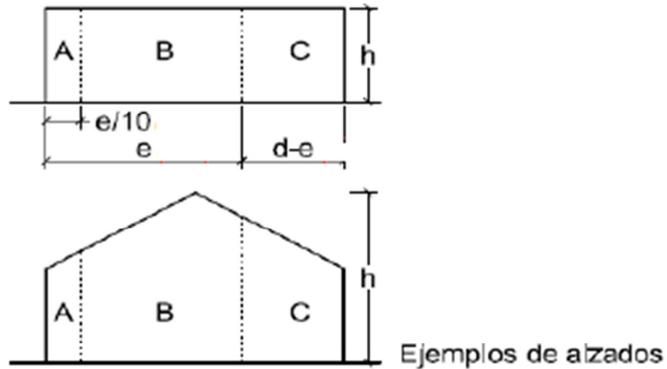
$$c_{ee} = 0.792 \cdot [0.792 + 7 \cdot 0.22] = 1.847$$

Una vez determinado este coeficiente, se estudiará cada una de las direcciones. Para cada dirección es necesario estudiar la acción del viento sobre: Parámetros verticales y cubierta. En primer lugar se hallarán los coeficientes eólicos o de presión que corresponden a cada una de las zonas de las naves y después se calculará la carga superficial correspondiente a esa zona.

- **Viento Lateral**

- **Parámetros verticales:**

Tabla 17. Parámetros verticales. Fuente: CTE-DB-SE-AE



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

$$e = \min(48,2 \cdot 11) = 22m$$

A esta tabla se entrará con  $A > 10$ , ya que para un pilar de un pórtico interior su área de influencia equivale a:  $A = 10 \cdot 6 = 60m^2 > 10m^2$ , donde 10 m es la altura del pilar y 6m es la crujía.

Por otro lado  $\frac{h}{d} = \frac{11}{14} = 0.78$ , así que se tendrá que interpolar entre los valores 0.25 y 1, que corresponden a  $h/d=0.25$  y  $h/d=1$ .

Tabla 18. Coeficientes eólicos de presión

h/d	A	B	C	D	E
1	-1.2	-0.8	-0.5	0.8	-0.5
0.78	-1.2	-0.8	-0.5	0.77	-0.44
$\geq 0.25$	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3

Con estos valores y los calculados anteriormente ( $q_e$ ,  $c_e$ ), se podrán obtener los valores de la presión estática ( $q_e$ ) en cada zona.

$$q_e = q_b \cdot c_{e_e} \cdot c_p = 0.42 \cdot 1.847 \cdot c_p$$

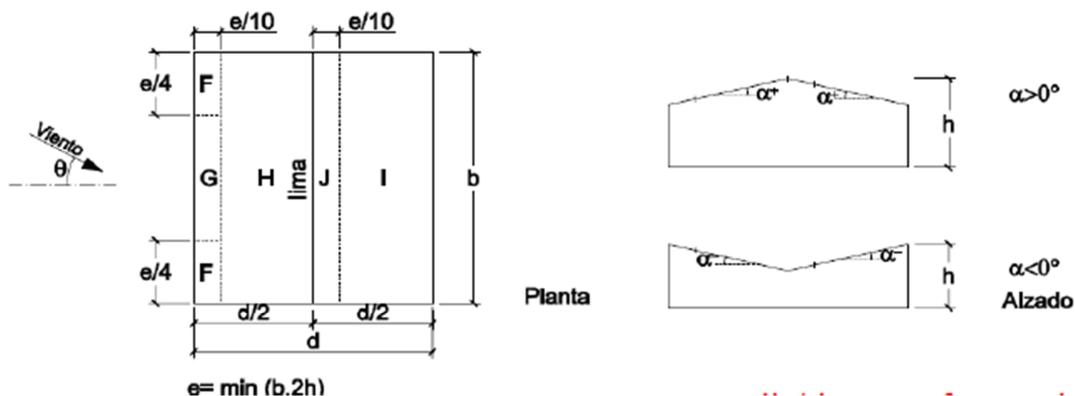
Tabla 19. Valores presión estática parámetros verticales

	ZONAS			
	A	B	D	E
$c_p$	-1.2	-0.8	0.77	-0.44
$q_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0.93	-0.62	0.59	-0.34

### - Cubierta a dos aguas

A continuación se calcularán las cargas aplicadas a la cubierta de la nave ocasionadas por los vientos laterales.

Tabla 20. Cubiertas a dos aguas Dirección del viento  $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ . Fuente: CTE-DB-SE-AE



Pendiente de la cubierta $\alpha$	A (m <sup>2</sup> )	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
-45°	≥ 10	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1
	≤ 1	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-1,5
-30°	≥ 10	-1,1	-0,8	-0,8	-0,6	-0,8
	≤ 1	-2	-1,5	-0,8	-0,6	-1,4
-15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9	-0,5	-0,7
	≤ 1	-2,8	-2	-1,2	-0,5	-1,2
-5°	≥ 10	-2,3	-1,2	-0,8	0,2	0,2
	≤ 1	-2,5	-2	-1,2	-0,6	-0,6
5°	≥ 10	+1,7	+1,2	+0,6	+0,6	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6
15°	≥ 10	-2,5	-2	-1,2	-0,6	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6
30°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
45°	≥ 10	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
60°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
75°	≥ 10	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
	≤ 1	0,7	0,7	0,4	0	0
81°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,8	+0,0	+0,0
87°	≥ 10	-0,0	-0,0	-0,0	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,7	0,7	0,7	-0,2	-0,3
93°	≥ 10	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3
	≤ 1	0,8	0,8	0,8	-0,2	-0,3

$$e = \min(48,2 \cdot 11) = 22m$$

El ángulo de pendiente de la cubierta tiene un valor de 8.13°, por lo tanto se tendrá que interpolar entre los valores de 5° y 15°, para obtener el valor de cada coeficiente eólico ( $c_p$ ):

Tabla 21. Coeficientes eólicos de presión

Pendiente de la cubierta ( $\alpha$ )	Área	ZONAS				
		F	G	H	I	J
5°	>10m <sup>2</sup>	-1.7	-1.2	-0.6	-0.6	0.2
		0	0	0	-0.6	-0.6
15°		-0.9	-0.8	-0.3	-0.4	-1
		0.2	0.2	0.2	0	0
8,13°		-1.44	-1.074	-0.5	-0.537	-0.175
	0.0626	0.0626	0.0626	-0.412	-0.412	

Se considerarán dos hipótesis al calcular las cargas sobre cubiertas, ya que la acción del viento en dichas zonas puede variar de succión (-) a presión (+).

Con estos datos ya se puede calcular la presión estática ( $q_e$ ) en las diferentes zonas de la cubierta sustituyendo en la fórmula:

$$q_e = q_b \cdot c_{e_e} \cdot c_p = 0.42 \cdot 1.847 \cdot c_p$$

Tabla 22. Valores presión estática cubierta a dos aguas

	F	G	H	I	J
$q_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	-1.117	-0.833	-0.387	-0.416	-0.135
	0.048	0.048	0.048	-0.319	-0.319

- **Viento frontal**

- **Parámetros verticales:**

A continuación, se calcularán los parámetros verticales del viento, aplicados en la dirección frontal o trasera.

Tabla 23. Parámetros verticales. Fuente: CTE-DB-SE-AE

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

Teniendo en cuenta que el área es mayor que 10 m y que la altura de cumbrera de la nave dividida la longitud de la nave es:

$$\frac{h}{d} = \frac{11}{48} = 0.229 \leq 0.25$$

Una vez se saben los coeficientes eólicos de las zonas de la nave se calculará la presión estática:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.42 \cdot 1.847 \cdot c_p$$

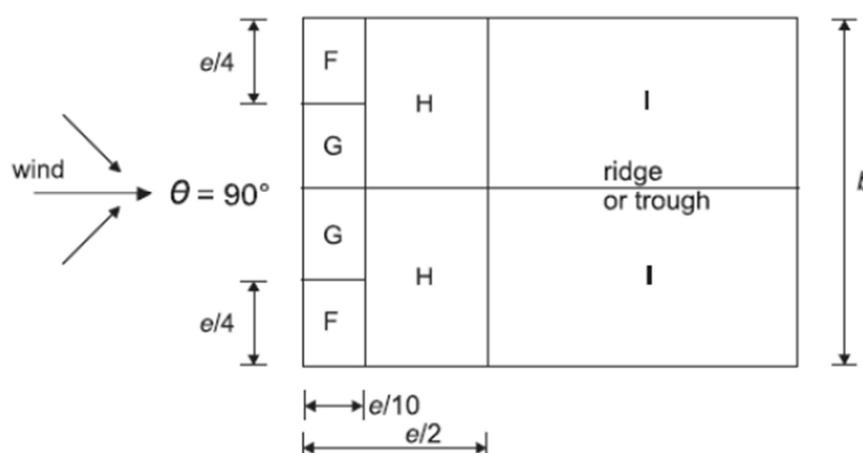
Tabla 14. Valores presión estática parámetros verticales

	ZONAS			
	A	B	D	E
$c_p$	-1.2	-0.8	0.7	-0.3
$q_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	-0.93	-0.62	0.543	-0.232

- **Cubierta a dos aguas:**

A continuación se calcularán las acciones aplicadas a la cubierta a dos aguas de la nave ocasionadas por el viento frontal.

Tabla 25. Cubiertas a dos aguas. Dirección del viento  $-45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$ . Fuente: CTE-DB-SE-AE



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

$$e = \min(48,2 \cdot 11) = 22m$$

La pendiente de la cubierta tiene un ángulo de  $8,13^\circ$ , por lo tanto se tendrá que interpolar entre los valores de  $5^\circ$  y  $15^\circ$ , para obtener el valor de cada coeficiente eólico ( $c_p$ ):

Tabla 26. Coeficientes eólicos cubiertas inclinadas

Pendiente de la cubierta ( $\alpha$ )	Área (m <sup>2</sup> )	ZONAS			
		F	G	H	I
5°	>10	-1.6	-1.3	-0.7	-0.6
8.13°		-1.506	-1.3	-0.6687	-0.5687
15°		-1.3	-1.3	-0.6	-0.5

Con estos datos ya se puede calcular la presión estática ( $q_e$ ) en las diferentes zonas de la cubierta sustituyendo en la fórmula:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.42 \cdot 1.847 \cdot c_p$$

Tabla 27. Valores presiones estáticas

	ZONAS			
	A	B	D	E
$c_p$	-1.506	-1.3	-0.6687	-0.5687
$q_e$ (kN/m <sup>2</sup> )	-1.168	-1	0.5187	-0.4411

- **Sobrecarga de uso debida al viento interior**

La nave tendrá dos puertas, una en el pórtico de fachada delantera y otra en el pórtico de fachada trasera, lo que genera presiones o succiones en el interior que se sumarán a las anteriores. Estas puertas deberán estar abiertas ya que la nave almacena baterías que desprende hidrógeno.

$$q_{eT} = q_{ee} + q_{ei}$$

$$q_{ei} = q_b \cdot c_{ei}(G, z_i) \cdot c_{pi}$$

El valor  $q_b$  es el mismo al calculado en los apartados anteriores ( $q_b = 0.42$  kN/m<sup>2</sup>). El valor del coeficiente de exposición interior ( $c_{ei}$ ) es distinto al calculado anteriormente para el viento exterior.

Para calcular el coeficiente de exposición, se tendrá en cuenta que existen dos huecos dominantes (las dos puertas de fachada), que tiene una altura total de 4 metros, por tanto su punto medio está situado a  $z = 2$  metros.

$$c_{ee} = F(g, z) \cdot [F(g, z) + 7 \cdot k(g)]$$

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

Tabla 28. Coeficientes para tipo de entorno. Fuente: CTE-DB-SE-AE

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,15	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

De la tabla se extraen los valores correspondientes a la zona IV, ya que la nave está situada en una zona industrial.

- $k(g) = 0.22$
- $L(g) = 0.3\text{metros}$
- $Z(g) = 5\text{metros}$

Una vez sustituidos los datos en los apartados anteriores se obtiene un coeficiente de exposición de:

$$c_{ee} = 1.336$$

Para este caso, se ha decidido considerar los coeficientes de viento interior ( $c_{ei}$ ) más desfavorables y extremos, +0.2 en caso de presión y -0.3 cuando se tiene succión.

Las cargas aplicadas al pórtico interior serán de:

$$q_e = q_b \cdot c_{ei} \cdot c_p = 0.42 \cdot 1.336 \cdot (-0.3) = 0.168\text{kN} / \text{m}^2 \rightarrow \text{SUCCIÓN}$$

$$q_e = q_b \cdot c_{ei} \cdot c_p = 0.42 \cdot 1.336 \cdot (+0.2) = 0.112\text{kN} / \text{m}^2 \rightarrow \text{PRESIÓN}$$

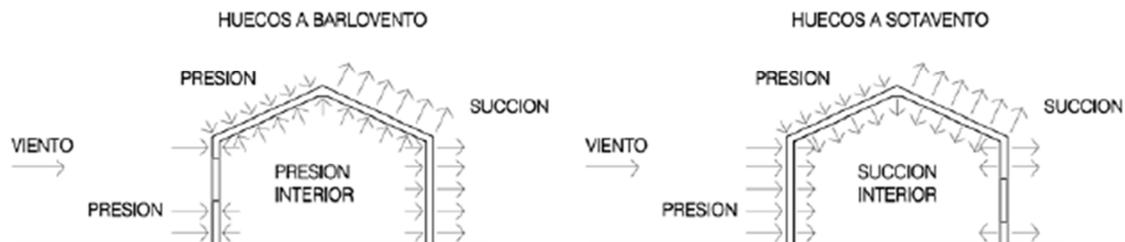


Figura 47. Situaciones de presión y succión en la estructura. Fuente: CTE-DB-SE-AE

## 2.2 Pandeo

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, cuya manifestación corresponde a desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión. El programa CYPE Ingenieros considera dos planos para el pandeo, el plano débil (XY) y el plano fuerte (XZ). A continuación se estudiará el pandeo de todos los elementos de la estructura en estos dos planos:

### 2.2.1 Jácena pórtico de fachada delantera y trasera

Plano XY: Es el plano perpendicular al pórtico. En este plano la jácena tiene el pandeo impedido por el efecto de las correas, por lo que el valor del coeficiente  $\beta$  puede considerarse cero.

Plano XZ: Es el plano del pórtico. En este pórtico la jácena estará dividida por un pilar intermedio. El valor de coeficiente  $\beta$  será igual a 1 ya que se considerarán biapoyadas, y la longitud geométrica,  $L=7m$ . Por tanto,  $\beta \cdot L = L_k = \frac{Luz}{2} = 7\text{metros}$ .

### 2.2.2 Jácena pórtico interior

Plano XY: Es el plano perpendicular al pórtico. En este plano la jácena tiene el pandeo impedido por el efecto de las correas, por lo que el valor del coeficiente  $\beta$  se puede considerar nulo.

Plano XZ: Es el plano del pórtico. En este plano, al no existir pilar intermedio, el pandeo en dicho plano se obtiene con la longitud equivalente, es decir,  $\beta$  es igual a 1, por tanto  $\beta \cdot L = L_k = Luz = 14\text{metros}$ .

### 2.2.3 Pilar central pórtico de fachada

La estructura es intraslacional en el plano del pórtico de fachada debido a los bloques de hormigón que arriostran el plano. El pilar central es una barra empotrada-articulada por lo tanto en este caso los coeficientes de pandeo ( $\beta$ ) se considerarán 0.7 en ambos planos.

### 2.2.4 Pilares de esquina

En el plano XY los pilares de esquina se comportan de la misma manera que los anteriores, por lo que el valor del coeficiente de pandeo será 0,7.

En el plano XZ el pilar se divide en dos partes para disminuir la longitud de las diagonales, así que equivalente de pandeo será  $\beta \cdot L_{sup} = L_k = 0.7 \cdot 2.5 = 1.75m$  en la parte superior del pilar y  $\beta \cdot L_{inf} = L_k = 0.7 \cdot 7.5 = 5.25m$  en la parte inferior.

### 2.2.5 Pilares pórtico interior

En el plano XY todos los pilares se comportan de la misma manera ( $\beta=0.7$ ) ya que están empotrados-articulados. En el plano del pórtico (plano XZ) se tiene un pilar unido rígidamente a

la jácena y a la ménsula dispuesta para el puente grúa. Al introducir la ménsula, esta divide el pilar en dos elementos. La longitud de pandeo en ambos elementos viene dada por la longitud equivalente, en el tramo superior  $\beta \cdot L_{Sup} = L_k = 0.7 \cdot 2.5 = 1.75m$  y en el tramo inferior  $\beta \cdot L_{Sup} = L_k = 0.7 \cdot 7.5 = 5.25m$ .

### 2.2.6 Diagonales

Las diagonales de arriostramiento se han definido como tirantes, por lo que su pandeo es cero.

### 2.2.7 Montantes

Se trata de barras biarticuladas que trabajan a compresión, su coeficiente de pandeo es uno en ambos planos.

## 2.3 Límite de flecha

La flecha máxima para pilares, tanto interiores como exteriores, el límite de flecha será de  $L/250$ . Sin embargo, para la jácena el límite de flecha tendrá un valor  $L/300$ .

## 2.4 Comprobaciones ELU

En este apartado se encuentran las comprobaciones de los elementos más representativos de la estructura de la nave.

### 2.4.1 Pilares

- **PILAR CENTRAL DE FACHADA**

#### Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N88/N5

Perfil: IPE 500 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> )
N88	N5	10.950	116.00	48200.00	2142.00	89.30
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
$\beta$	0.70	0.70	0.00	0.00		
$L_k$	7.665	7.665	0.000	0.000		
$C_m$	1.000	1.000	1.000	1.000		
$C_1$	-		1.000			
Notación: $\beta$ : Coeficiente de pandeo $L_k$ : Longitud de pandeo (m) $C_m$ : Coeficiente de momentos $C_1$ : Factor de modificación para el momento crítico						

**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.

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

$\bar{\lambda}$  : 1.99 ✓

Donde:

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

**Clase :** 4

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

**A<sub>ef</sub> :** 109.14 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> :** 755.64 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.

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

**N<sub>cr,y</sub> :** 17003.63 kN

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

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

**N<sub>cr,z</sub> :** 755.64 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

**N<sub>cr,T</sub> :** ∞

Donde:

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

**I<sub>y</sub> :** 48200.00 cm<sup>4</sup>

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

**I<sub>z</sub> :** 2142.00 cm<sup>4</sup>

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

**I<sub>t</sub> :** 89.30 cm<sup>4</sup>

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

**I<sub>w</sub> :** 1249000.00 cm<sup>6</sup>

**E:** Módulo de elasticidad.

**E :** 210000 MPa

**G:** Módulo de elasticidad transversal.

**G :** 81000 MPa

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

**L<sub>ky</sub> :** 7.665 m

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

**L<sub>kz</sub> :** 7.665 m

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

**L<sub>kt</sub> :** 0.000 m

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

**i<sub>0</sub> :** 20.83 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<sub>y</sub> :** 20.38 cm

**i<sub>z</sub> :** 4.30 cm

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$45.88 \leq 279.81 \checkmark$$

Donde:

**$h_w$** : Altura del alma.

$$h_w : \underline{468.00} \text{ mm}$$

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

$$t_w : \underline{10.20} \text{ mm}$$

**$A_w$** : Área del alma.

$$A_w : \underline{47.74} \text{ cm}^2$$

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

$$A_{fc,ef} : \underline{32.00} \text{ cm}^2$$

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

$$k : \underline{0.30}$$

**$E$** : Módulo de elasticidad.

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

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

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

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.014} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3.$$

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

$$N_{t,Ed} : \underline{43.25} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{3038.10} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{116.00} \text{ cm}^2$$

**$f_{yd}$** : 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:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.038} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.183} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N88, para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2+1.5·V(180°)H4+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed} : \underline{110.02} \text{ kN}$

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

$$N_{c,Rd} = A_{ef} \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd} : \underline{2858.40} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : 4

$A_{ef}$ : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.  $A_{ef} : \underline{109.14} \text{ cm}^2$

$f_{yd}$ : 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:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{ef} \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{602.49} \text{ kN}$$

Donde:

$A_{ef}$ : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.  $A_{ef} : \underline{109.14} \text{ cm}^2$

$f_{yd}$ : 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.

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

$$\chi_y : \underline{0.95}$$

$$\chi_z : \underline{0.21}$$

Siendo:

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

$$\Phi_y : \underline{0.61}$$

$$\Phi_z : \underline{2.79}$$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

$$\alpha_z : \underline{0.34}$$

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

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.42}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.99}$$

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

$$N_{cr} : \underline{755.64} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{17003.63} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{755.64} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$ : 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:

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

$$\eta : \underline{0.362} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N88, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{200.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N88, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

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

$$M_{Ed}^- : \underline{207.86} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{574.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{2194.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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)

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N88, para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2.$$

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N88, para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)1.$$

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{88.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{336.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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 corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N88, para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

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

$$V_{Ed} : \underline{82.85} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{912.59} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{60.35} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$$h : \underline{500.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.20} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : 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.

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

### 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:

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

$$41.76 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{41.76}$$

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

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : 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.  $f_{ref}$ : 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:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
 0.8·PP+0.8·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·V(0°)H4+0.75·N(R)2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$ : 0.07 kN

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd}: \underline{1032.23} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v$ : 68.26 cm<sup>2</sup>

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

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.  $A$ : 116.00 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.  $d$ : 468.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w$ : 10.20 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

### 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  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 82.85 \text{ kN} \leq 456.29 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N88, para la combinación de acciones  
 0.8·PP+0.8·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2+1.5·V(180°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 82.85 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd}$  : 912.59 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  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 0.07 \text{ kN} \leq 516.11 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N88, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 0.07 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd}$  : 1032.23 kN

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.378} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.381} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.300} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N88, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed}$  : 49.90 kN  
 $M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{y,Ed}$  : 207.86 kN·m  
 $M_{z,Ed}$  : 0.01 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.  $N_{pl,Rd} : \underline{3038.10}$  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.  $M_{pl,Rd,y} : \underline{574.62}$  kN·m  
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{88.00}$  kN·m

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

$A$ : Área de la sección bruta.  $A : \underline{116.00}$  cm<sup>2</sup>  
 $W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.  $W_{pl,y} : \underline{2194.00}$  cm<sup>3</sup>  
 $W_{pl,z} : \underline{336.00}$  cm<sup>3</sup>  
 $f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{vd} : \underline{261.90}$  MPa

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

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{275.00}$  MPa

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

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

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.12}$$

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

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

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

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

$$\chi_y : \underline{0.94}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.43}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{2.05}$$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : 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 el nudo N88, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$ .

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

$$82.85 \text{ kN} \leq 456.29 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{82.85}$$
 kN

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{912.59}$$
 kN

## • PILAR PÓRTICO INTERIOR

Este pilar se divide en dos tramos, el primer tramo comprende desde la base del pilar hasta la altura de 7,5 metros donde se instalarán las ménsulas.

### Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N11/N47

Perfil: IPE 450 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N11	N47	7.500	98.80	33740.00	1676.00	66.90
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.70	1.87	0.00	0.00	
L <sub>k</sub>		5.250	14.000	0.000	0.000	
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000	
C <sub>1</sub>		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

### 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.

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

$$\bar{\lambda} : \underline{1.43} \quad \checkmark$$

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.

$$\text{Clase} : \underline{4}$$

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$A_{ef} : \underline{93.67} \text{ cm}^2$$

**f<sub>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.

$$N_{cr} : \underline{1260.30} \text{ kN}$$

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.

$$N_{cr,y} : \underline{3567.86} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{cr,z} : \underline{1260.30} \text{ kN}$$

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

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

Donde:

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

$$I_y : \underline{33740.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{1676.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_t : \underline{66.90} \text{ cm}^4$$

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

$$I_w : \underline{791000.00} \text{ cm}^6$$

**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.

$$L_{ky} : \underline{14.000} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{5.250} \text{ m}$$

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

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

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

$$i_0 : \underline{18.93} \text{ cm}$$

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

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.

$$i_y : \underline{18.48} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{4.12} \text{ cm}$$

**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 Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

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

$$44.77 \leq 273.56 \checkmark$$

Donde:

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

$$h_w : \underline{420.80} \text{ mm}$$

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

$$t_w : \underline{9.40} \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \underline{39.56} \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{27.74} \text{ cm}^2$$

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

$$k : \underline{0.30}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

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

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

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

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.078} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.211} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 0.9 \cdot V(180^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

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

$$N_{c,Ed} : \underline{190.92} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{2453.21} \text{ kN}$$

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.

$$\text{Clase} : \underline{4}$$

$A_{ef}$ : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$A_{ef} : \underline{93.67} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : 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:

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

$$N_{b,Rd} : \underline{906.29} \text{ kN}$$

Donde:

<b>A<sub>ef</sub></b> : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.	<b>A<sub>ef</sub></b> : <u>93.67</u> cm <sup>2</sup>
<b>f<sub>yd</sub></b> : Resistencia de cálculo del acero.	<b>f<sub>yd</sub></b> : <u>261.90</u> MPa
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$	
Siendo:	
<b>f<sub>y</sub></b> : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	<b>f<sub>y</sub></b> : <u>275.00</u> MPa
<b>γ<sub>M1</sub></b> : Coeficiente parcial de seguridad del material.	<b>γ<sub>M1</sub></b> : <u>1.05</u>
<b>χ</b> : Coeficiente de reducción por pandeo.	
$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$	<b>χ<sub>y</sub></b> : <u>0.77</u>
	<b>χ<sub>z</sub></b> : <u>0.37</u>
Siendo:	
$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$	<b>φ<sub>y</sub></b> : <u>0.93</u>
	<b>φ<sub>z</sub></b> : <u>1.73</u>
<b>α</b> : Coeficiente de imperfección elástica.	<b>α<sub>y</sub></b> : <u>0.21</u>
	<b>α<sub>z</sub></b> : <u>0.34</u>
<b>λ̄</b> : Esbeltez reducida.	
$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} \cdot f_y}{N_{cr}}}$	<b>λ̄<sub>y</sub></b> : <u>0.85</u>
	<b>λ̄<sub>z</sub></b> : <u>1.43</u>
<b>N<sub>cr</sub></b> : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:	<b>N<sub>cr</sub></b> : <u>1260.30</u> kN
<b>N<sub>cr,y</sub></b> : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.	<b>N<sub>cr,y</sub></b> : <u>3567.86</u> kN
<b>N<sub>cr,z</sub></b> : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	<b>N<sub>cr,z</sub></b> : <u>1260.30</u> kN
<b>N<sub>cr,T</sub></b> : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	<b>N<sub>cr,T</sub></b> : <u>∞</u>

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \mathbf{0.559} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4.$$

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^+} : \underline{198.58} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(EI).$$

**M<sub>Ed</sub><sup>-</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^-} : \underline{249.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$\mathbf{M_{c,Rd}} : \underline{445.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

**$W_{pl,y}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.  **$W_{pl,y}$  :** 1702.00 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 pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

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

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

Se debe satisfacer:

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

**$\eta$  :** 0.056 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones

$0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

**$M_{Ed}^+$ :** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.  **$M_{Ed}^+$  :** 4.06 kN·m

Para flexión negativa:

**$M_{Ed}^-$ :** Momento flector solicitante de cálculo pésimo.  **$M_{Ed}^-$  :** 0.00 kN·m

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

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd} \quad \mathbf{M_{c,Rd} : } \underline{72.29} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

**$W_{pl,z}$ :** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.  **$W_{pl,z}$  :** 276.00 cm<sup>3</sup>

**$f_{yd}$ :** 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 corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.093} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2+1.5·V(180°)H3+0.75·N(EI).

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

$$V_{Ed} : \underline{71.22} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{768.52} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{50.82} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$$h : \underline{450.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{9.40} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : 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:

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

$$40.30 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{40.30}$$

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

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

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

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

$f_v$ : 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+1.35·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2+1.5·V(90°)H1+0.75·N(R)1.

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

$V_{Ed}$ : 0.87 kN

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

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

$V_{c,Rd}$ : 895.85 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$ : 59.24 cm<sup>2</sup>

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

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$A$ : 98.80 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.

$d$ : 420.80 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$ : 9.40 mm

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

$f_{yd}$ : 261.90 MPa

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

Siendo:

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

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

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

**71.22 kN ≤ 384.26 kN** ✓

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

1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2+1.5·V(180°)H3+0.75·N(EI).

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

$V_{Ed}$ : 71.22 kN

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

$V_{c,Rd}$  : 768.52 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  $V_{c,Rd}$ .

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

$0.87 \text{ kN} \leq 447.92 \text{ kN}$  ✓

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

$0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

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

$V_{Ed}$  : 0.87 kN

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

$V_{c,Rd}$  : 895.85 kN

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

Se debe satisfacer:

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

$\eta$  : 0.650 ✓

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

$\eta$  : 0.677 ✓

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

$\eta$  : 0.535 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N11, para la combinación de acciones

$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

Donde:

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

$N_{c,Ed}$  : 123.31 kN

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

$M_{y,Ed}$  : 249.37 kN·m

$M_{z,Ed}$  : 3.07 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.

$N_{pl,Rd}$  : 2587.62 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.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{445.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{72.29} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{98.80} \text{ cm}^2$$

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

$$W_{pl,y} : \underline{1702.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{276.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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.

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

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

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

$$k_y : \underline{1.04}$$

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

$$k_z : \underline{1.19}$$

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

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

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

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

$$\chi_y : \underline{0.75}$$

$$\chi_z : \underline{0.35}$$

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.87}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.47}$$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : 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

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(EI).$$

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

$$71.22 \text{ kN} \leq 346.01 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{71.22} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{692.02} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.237} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
0.8·PP+1.35·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·V(180°)H3.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{1.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{T,Rd} : \underline{6.93} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{45.82} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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 Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.037} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·Q.

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

$$V_{Ed} : \underline{25.40} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{1.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{692.02} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{768.52} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{35.76} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{45.82} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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:

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

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·Q.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.66} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{1.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{806.67} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{895.85} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{35.76} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{45.82} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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.

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

Barra N47/N12

Perfil: IPE 450 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>v</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N47	N12	2.500	98.80	33740.00	1676.00	66.90
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.70	5.60	0.00	0.00	
L <sub>k</sub>		1.750	14.000	0.000	0.000	
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000	
C <sub>1</sub>		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

### 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.

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

$$\bar{\lambda} : \underline{0.85} \quad \checkmark$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase :** 4

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A<sub>ef</sub> :** 93.67 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico. **N<sub>cr</sub> :** 3567.86 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> :** 3567.86 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> :** 11342.71 kN

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

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

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

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>33740.00</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>1676.00</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>t</sub></b> : Momento de inercia a torsión uniforme.	<b>I<sub>t</sub></b> : <u>66.90</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>w</sub></b> : Constante de alabeo de la sección.	<b>I<sub>w</sub></b> : <u>791000.00</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>14.000</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>1.750</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>18.93</u> 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<sub>y</sub>** : 18.48 cm

**i<sub>z</sub>** : 4.12 cm

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

**y<sub>0</sub>** : 0.00 mm

**z<sub>0</sub>** : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

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

**44.77 ≤ 273.56** ✓

Donde:

<b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.	<b>h<sub>w</sub></b> : <u>420.80</u> mm
<b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.	<b>t<sub>w</sub></b> : <u>9.40</u> mm
<b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.	<b>A<sub>w</sub></b> : <u>39.56</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>27.74</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:

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

$$\eta : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

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

$$N_{t,Ed} : \underline{55.84} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{2587.62} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{98.80} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : 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:

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

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

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N47, para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 0.9 \cdot V(180^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

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

$$N_{c,Ed} : \underline{60.70} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{2453.21} \text{ kN}$$

Donde:

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

**Clase :** 4

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

**A<sub>ef</sub> :** 93.67 cm<sup>2</sup>

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

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

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

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:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{ef} \cdot f_{vd}$$

**N<sub>b,Rd</sub> :** 1879.43 kN

Donde:

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

**A<sub>ef</sub> :** 93.67 cm<sup>2</sup>

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

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

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

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> :** 0.77

**χ<sub>z</sub> :** 0.89

Siendo:

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

**φ<sub>y</sub> :** 0.93

**φ<sub>z</sub> :** 0.66

**α:** Coeficiente de imperfección elástica.

**α<sub>y</sub> :** 0.21

**α<sub>z</sub> :** 0.34

**λ̄:** Esbeltez reducida.

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

**λ̄<sub>y</sub> :** 0.85

**λ̄<sub>z</sub> :** 0.48

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

**N<sub>cr</sub> :** 3567.86 kN

**N<sub>cr,y</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub> :** 3567.86 kN

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

**N<sub>cr,z</sub> :** 11342.71 kN

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

**N<sub>cr,T</sub> :** ∞

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.291} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{129.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

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

$$M_{Ed}^- : \underline{125.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{445.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{1702.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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)

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.037} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N47, para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

$M_{Ed}$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.  $M_{Ed} : 2.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$   $M_{c,Rd} : 72.29 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

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

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.  $W_{pl,z} : 276.00 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

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

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : 275.00 \text{ MPa}$

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : 0.058 \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : 44.78 \text{ kN}$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : 768.52 \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v : 50.82 \text{ cm}^2$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.  $h : 450.00 \text{ mm}$

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w : 9.40 \text{ mm}$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$

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

Siendo:

$$f_v: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_v : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad 40.30 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$$\lambda_w: \text{Esbeltez del alma.} \quad \lambda_w : \underline{40.30}$$

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

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

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

$$\varepsilon: \text{Factor de reducción.} \quad \varepsilon : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

$$f_{ref}: \text{Límite elástico de referencia.} \quad f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

$$f_v: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_v : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)1.$$

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{1.25} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{895.85} \text{ kN}$$

Donde:

$$A_v: \text{Área transversal a cortante.} \quad A_v : \underline{59.24} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

$$A: \text{Área de la sección bruta.} \quad A : \underline{98.80} \text{ cm}^2$$

$$d: \text{Altura del alma.} \quad d : \underline{420.80} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 9.40 mm

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

$f_{vd}$  : 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 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  $V_{c,Rd}$ .

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

**32.25 kN ≤ 384.26 kN** ✓

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

$$1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI).$$

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

$V_{Ed}$  : 32.25 kN

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

$V_{c,Rd}$  : 768.52 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  $V_{c,Rd}$ .

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

**1.25 kN ≤ 447.92 kN** ✓

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

$$0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)1.$$

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

$V_{Ed}$  : 1.25 kN

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

$V_{c,Rd}$  : 895.85 kN

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.313} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.323} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.202} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2+1.5·V(180°)H4+0.75·N(EI).

Donde:

<b>N<sub>c,Ed</sub></b> : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	<b>N<sub>c,Ed</sub></b> : <u>48.60</u> kN
<b>M<sub>y,Ed</sub></b> , <b>M<sub>z,Ed</sub></b> : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	<b>M<sub>y,Ed</sub></b> <sup>+</sup> : <u>129.64</u> kN·m
	<b>M<sub>z,Ed</sub></b> <sup>+</sup> : <u>0.26</u> kN·m
<b>Clase</b> : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	<b>Clase</b> : <u>1</u>
<b>N<sub>pl,Rd</sub></b> : Resistencia a compresión de la sección bruta.	<b>N<sub>pl,Rd</sub></b> : <u>2587.62</u> kN
<b>M<sub>pl,Rd,y</sub></b> , <b>M<sub>pl,Rd,z</sub></b> : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	<b>M<sub>pl,Rd,y</sub></b> : <u>445.76</u> kN·m
	<b>M<sub>pl,Rd,z</sub></b> : <u>72.29</u> kN·m

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

<b>A</b> : Área de la sección bruta.	<b>A</b> : <u>98.80</u> cm <sup>2</sup>
<b>W<sub>pl,y</sub></b> , <b>W<sub>pl,z</sub></b> : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	<b>W<sub>pl,y</sub></b> : <u>1702.00</u> cm <sup>3</sup>
	<b>W<sub>pl,z</sub></b> : <u>276.00</u> cm <sup>3</sup>
<b>f<sub>yd</sub></b> : Resistencia de cálculo del acero.	<b>f<sub>yd</sub></b> : <u>261.90</u> MPa
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$	
Siendo:	
<b>f<sub>y</sub></b> : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	<b>f<sub>y</sub></b> : <u>275.00</u> MPa
<b>γ<sub>M1</sub></b> : Coeficiente parcial de seguridad del material.	<b>γ<sub>M1</sub></b> : <u>1.05</u>

**k<sub>y</sub>**, **k<sub>z</sub>**: Coeficientes de interacción.

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

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.01}$$

<b>C<sub>m,y</sub></b> , <b>C<sub>m,z</sub></b> : Factores de momento flector uniforme equivalente.	<b>C<sub>m,y</sub></b> : <u>1.00</u>
	<b>C<sub>m,z</sub></b> : <u>1.00</u>

$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.  $\chi_y : \underline{0.75}$   
 $\chi_z : \underline{0.89}$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.  $\bar{\lambda}_y : \underline{0.87}$   
 $\bar{\lambda}_z : \underline{0.49}$

$\alpha_y, \alpha_z$ : 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

$$1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI).$$

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

$$32.25 \text{ kN} \leq 262.25 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{32.25} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{524.50} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.681} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)2.$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{4.72} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{T,Rd} : \underline{6.93} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{45.82} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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 Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·Q.

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

$$V_{Ed} : \underline{11.02} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{4.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{524.50} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{768.52} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{100.98} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$W_T : \underline{45.82} \text{ cm}^3$$

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

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

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

Siendo:

**f<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 cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·Q.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.94} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{4.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{611.40 \text{ kN}}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{895.85 \text{ kN}}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{100.98 \text{ MPa}}$$

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{45.82 \text{ cm}^3}$$

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

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

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

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.

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

## 2.4.2 Jácenas

### • JÁCENA PÓRTICO INTERIOR

#### Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N12/N15

Perfil: IPE 330 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> )
N12	N15	7.071	62.60	11770.00	788.00	28.20
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		0.00	1.98	0.00	0.00	
L <sub>k</sub>		0.000	14.000	0.000	0.000	
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000	
C <sub>1</sub>		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

#### 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.

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

$$\bar{\lambda} : \underline{1.18} \quad \checkmark$$

Donde:

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

**Clase :** 3

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

**A :** 62.60 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> :** 1244.63 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> :** 1244.63 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.

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

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

Donde:

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

$$I_y : \underline{11770.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{788.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_t : \underline{28.20} \text{ cm}^4$$

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

$$I_w : \underline{199000.00} \text{ cm}^6$$

**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.

$$L_{ky} : \underline{14.000} \text{ m}$$

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

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

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

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

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

$$i_0 : \underline{14.16} \text{ cm}$$

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

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.

$$i_y : \underline{13.71} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.55} \text{ cm}$$

**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 Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

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

$$40.93 \leq 256.27 \checkmark$$

Donde:

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

$$h_w : \underline{307.00} \text{ mm}$$

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

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \underline{23.03} \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{18.40} \text{ cm}^2$$

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

$$k : \underline{0.30}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

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

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

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

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.031} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$ .

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

$$N_{t,Ed} : \underline{51.05} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{1639.52} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

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

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

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

Siendo:

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

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

$$N_{c,Ed} : \underline{42.61} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{1639.52} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y

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

de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

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

$$\mathbf{A} : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

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

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

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

$$\mathbf{N_{b,Rd}} : \underline{894.00} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$\mathbf{A} : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

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

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

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$\mathbf{\chi_y} : \underline{0.55}$$

Siendo:

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

$$\mathbf{\phi_y} : \underline{1.29}$$

**α**: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\mathbf{\alpha_y} : \underline{0.21}$$

**λ̄**: Esbeltez reducida.

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

$$\mathbf{\bar{\lambda}_y} : \underline{1.18}$$

**N<sub>cr</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$\mathbf{N_{cr}} : \underline{1244.63} \text{ kN}$$

**N<sub>cr,y</sub>**: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\mathbf{N_{cr,y}} : \underline{1244.63} \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.615} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1.$$

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{125.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI).$$

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

$$M_{Ed}^- : \underline{129.52} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{210.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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)

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.059} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)1.$$

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.52} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2.$$

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

$$M_{Ed} : \underline{2.38} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{40.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{154.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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 corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.112} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1.$$

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

$$V_{Ed} : \underline{52.33} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{465.77} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{30.80} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$$h : \underline{330.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

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

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

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

Siendo:

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

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

$\gamma_{M0}$ : 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:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad \mathbf{36.13 < 64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.  $\lambda_w : \underline{36.13}$

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

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : 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.  $f_{ref} : \underline{235.00}$  MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{275.00}$  MPa

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
0.8·PP+0.8·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·V(0°)H4+0.75·N(R)2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{0.50}$  kN

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{598.42}$$
 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v : \underline{39.58}$  cm<sup>2</sup>

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

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.  $A : \underline{62.60}$  cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.  $d : \underline{307.00}$  mm

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w : \underline{7.50}$  mm

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{vd} : 261.90$  MPa

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

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : 275.00$  MPa

$\gamma_{M0}$ : 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  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 52.33 \text{ kN} \leq 232.88 \text{ kN} \quad \checkmark$$

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

$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1.$$

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : 52.33$  kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : 465.77$  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  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 0.50 \text{ kN} \leq 299.21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

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

$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2.$$

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : 0.50$  kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : 598.42$  kN

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : 0.652 \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.693} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.420} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>ésimos</sup> se producen en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2+1.5·V(180°)H4+0.75·N(EI).

Donde:

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

$$\underline{N_{c,Ed} : 42.37 \text{ kN}}$$

**M<sub>y,Ed</sub>, M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de cálculo p<sup>ésimos</sup>, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\underline{M_{y,Ed} : 129.52 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{M_{z,Ed} : 0.46 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

**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.

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

**N<sub>pl,Rd</sub>**: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$\underline{N_{pl,Rd} : 1639.52 \text{ kN}}$$

**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.

$$\underline{M_{pl,Rd,y} : 210.57 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{M_{pl,Rd,z} : 40.33 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

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

**A**: Área de la sección bruta.

$$\underline{A : 62.60 \text{ cm}^2}$$

**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.

$$\underline{W_{pl,y} : 804.00 \text{ cm}^3}$$

$$\underline{W_{pl,z} : 154.00 \text{ cm}^3}$$

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

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

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

Siendo:

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

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

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

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

**k<sub>y</sub>, k<sub>z</sub>**: Coeficientes de interacción.

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

$$\underline{k_y : 1.04}$$

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

$$\underline{k_z : 1.00}$$

**C<sub>m,y</sub>, C<sub>m,z</sub>**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

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

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

**χ<sub>y</sub>, χ<sub>z</sub>**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\underline{\chi_y : 0.55}$$

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

**λ<sub>y</sub>, λ<sub>z</sub>**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\underline{\bar{\lambda}_y : 1.18}$$

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

**α<sub>y</sub>, α<sub>z</sub>**: Factores dependientes de la clase de la sección.

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

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

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad 52.33 \text{ kN} \leq 226.87 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

- $V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed,z} : 52.33 \text{ kN}$
- $V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd,z} : 453.74 \text{ kN}$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : 0.075 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3$ .

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.  $M_{T,Ed} : 0.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : 3.71 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

- $W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.  $W_T : 24.52 \text{ cm}^3$
- $f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$
- $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$
- Siendo:
  - $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : 275.00 \text{ MPa}$
  - $\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} : 1.05$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : 0.083 \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N12, para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·Q.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : 37.66$  kN

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.  $M_{T,Ed} : 0.24$  kN·m

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : 453.74 \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{pl,Rd} : 465.77$  kN

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.  $\tau_{T,Ed} : 9.63$  MPa

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.  $W_T : 24.52$  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 cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : 0.001 \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·Q.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : 0.41$  kN

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.  $M_{T,Ed} : 0.24$  kN·m

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : 582.97 \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{pl,Rd} : 598.42$  kN

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.  $\tau_{T,Ed} : 9.63$  MPa

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T$ : 24.52 cm<sup>3</sup>

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

$f_{vd}$ : 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

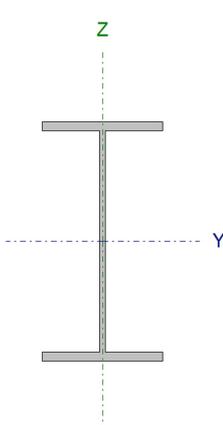
$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$ : 1.05

• **JÁCENA PÓRTICO DE FACHADA**

**Comprobaciones E.L.U. (Completo)**

Barra N2/N66

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> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N2	N66	3.567	39.10	3892.00	284.00	12.90	
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	1.96	0.00	0.00		
	L <sub>k</sub>	0.000	7.000	0.000	0.000		
	C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

**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.

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

$\bar{\lambda}$  : 0.81 ✓

Donde:

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

**Clase** : 2

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

**A** : 39.10 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>** : 1646.25 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>** : 1646.25 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.

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

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

Donde:

**I<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.

$$I_t : \underline{12.90} \text{ cm}^4$$

**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.

$$L_{ky} : \underline{7.000} \text{ m}$$

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

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

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

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

**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 Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

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

$$35.55 \leq 246.95 \checkmark$$

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.

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

**f<sub>yf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

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

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N66, para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

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

$$N_{t,Ed} : \underline{24.88} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{1024.05} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : 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 compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

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

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

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

$$N_{c,Ed} : \underline{26.33} \text{ kN}$$

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

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

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

$$\mathbf{A} : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

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

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

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

$$\mathbf{N_{b,Rd}} : \underline{810.02} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$\mathbf{A} : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

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

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

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$\mathbf{\chi_y} : \underline{0.79}$$

Siendo:

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

$$\mathbf{\Phi_y} : \underline{0.89}$$

**α:** Coeficiente de imperfección elástica.

$$\mathbf{\alpha_y} : \underline{0.21}$$

**λ̄:** Esbeltez reducida.

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

$$\mathbf{\bar{\lambda}_y} : \underline{0.81}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$\mathbf{N_{cr}} : \underline{1646.25} \text{ kN}$$

**N<sub>cr,y</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$\mathbf{N_{cr,y}} : \underline{1646.25} \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.240} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1.$$

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{23.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2.$$

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

$$M_{Ed}^- : \underline{19.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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)

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.037} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.387 m del nudo N2, para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)1.$$

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.387 m del nudo N2, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3$ .

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

$$M_{Ed} : \underline{0.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{73.90} \text{ cm}^3$$

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

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

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

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:

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

$$\eta : \underline{0.060} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

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

$$V_{Ed} : \underline{17.38} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{289.23} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{19.13} \text{ cm}^2$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$$h : \underline{240.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.20} \text{ mm}$$

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

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

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

Siendo:

$$f_v: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_v : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad \mathbf{30.71 < 64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

$$\lambda_w: \text{Esbeltez del alma.} \quad \lambda_w : \underline{30.71}$$

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

$$\lambda_{m\acute{a}x}: \text{Esbeltez m\acute{a}xima.} \quad \lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

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

$$\varepsilon: \text{Factor de reducci3n.} \quad \varepsilon : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

$$f_{ref}: \text{L\acute{i}mite el\acute{a}stico de referencia.} \quad f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

$$f_v: \text{L\acute{i}mite el\acute{a}stico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_v : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de c\acute{a}lculo p\acute{e}simo se produce en el nudo N2, para la combinaci3n de acciones  
1.35·PP+0.8·puentegr\acute{u}as.1+1.35·puentegr\acute{u}as.2+1.5·V(0°)H1+0.75·N(R)1.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de c\acute{a}lculo p\acute{e}simo.} \quad V_{Ed} : \underline{1.33} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de c\acute{a}lculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{384.61} \text{ kN}$$

Donde:

$$A_v: \text{\c{A}rea transversal a cortante.} \quad A_v : \underline{25.44} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

$$A: \text{\c{A}rea de la secci3n bruta.} \quad A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

$$d: \text{Altura del alma.} \quad d : \underline{220.40} \text{ mm}$$

$$t_w: \text{Espesor del alma.} \quad t_w : \underline{6.20} \text{ mm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{vd} : 261.90$  MPa

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

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : 275.00$  MPa

$\gamma_{M0}$ : 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  $V_{c,Rd}$ .

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

$$17.38 \text{ kN} \leq 144.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : 17.38$  kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : 289.23$  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  $V_{c,Rd}$ .

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

$$1.33 \text{ kN} \leq 192.30 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : 1.33$  kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : 384.61$  kN

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : 0.272 \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.230} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·V(90°)H1.

Donde:

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

$$N_{t,Ed} : \underline{23.95} \text{ kN}$$

**M<sub>y,Ed</sub>, M<sub>z,Ed</sub>**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{22.95} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

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

$$N_{pl,Rd} : \underline{1024.05} \text{ kN}$$

**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.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{96.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{19.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{ef,Ed} : \underline{21.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

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

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{57.63} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

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

$$W_{y,com} : \underline{367.00} \text{ cm}^3$$

**A**: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

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

$$M_{b,Rd,y} : \underline{96.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

### **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<sub>Ed</sub>** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·V(0°)H1.

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

$$17.38 \text{ kN} \leq 144.44 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{17.38} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{288.88} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
0.8·PP+0.8·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2+1.5·V(0°)H1.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{T,Rd} : \underline{1.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{13.16} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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 Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2, para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·Q.

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

$$V_{Ed} : \underline{10.37} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{288.88} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{289.23} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.46} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.	$W_T : 13.16 \text{ cm}^3$
$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$	
Siendo:	
$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : 275.00 \text{ MPa}$
$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M0} : 1.05$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \qquad \eta < \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·Q.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	$V_{Ed} : 0.05 \text{ kN}$
---	----------------------------

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.	$M_{T,Ed} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$
--	---

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \qquad V_{pl,T,Rd} : 384.14 \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$V_{pl,Rd} : 384.61 \text{ kN}$
$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.	$\tau_{T,Ed} : 0.46 \text{ MPa}$

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.	$W_T : 13.16 \text{ cm}^3$
$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$	
Siendo:	
$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : 275.00 \text{ MPa}$
$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M0} : 1.05$

Barra N66/N5

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> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N66	N5	3.504	39.10	3892.00	284.00	12.90
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	2.00	0.00	0.00	
L <sub>k</sub>		0.000	7.000	0.000	0.000	
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000	
C <sub>1</sub>		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

### 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.

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

$$\bar{\lambda} : \underline{0.81} \quad \checkmark$$

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.

$$N_{cr} : \underline{1646.25} \text{ kN}$$

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.

$$N_{cr,y} : \underline{1646.25} \text{ kN}$$

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

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

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

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

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

Donde:

<b>I<sub>y</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	<b>I<sub>y</sub></b> : <u>3892.00</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>284.00</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>t</sub></b> : Momento de inercia a torsión uniforme.	<b>I<sub>t</sub></b> : <u>12.90</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>w</sub></b> : Constante de alabeo de la sección.	<b>I<sub>w</sub></b> : <u>37400.00</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>7.000</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>0.000</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>10.33</u> cm

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

Siendo:

<b>i<sub>y</sub> , 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>9.98</u> cm
	<b>i<sub>z</sub></b> : <u>2.70</u> cm
<b>y<sub>0</sub> , 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 Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 35.55 \leq 246.95 \checkmark$$

Donde:

<b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.	<b>h<sub>w</sub></b> : <u>220.40</u> mm
<b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.	<b>t<sub>w</sub></b> : <u>6.20</u> mm
<b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.	<b>A<sub>w</sub></b> : <u>13.66</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>11.76</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:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.036} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.  $N_{t,Ed}$ : 37.26 kN

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

$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$   $N_{t,Rd}$ : 1024.05 kN

Donde:

**A**: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A**: 39.10 cm<sup>2</sup>

**f<sub>vd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>vd</sub>**: 261.90 MPa

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

Siendo:

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

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.030} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.038} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N66, para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed}$ : 30.56 kN

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

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$   $N_{c,Rd}$ : 1024.05 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**: 2

**A**: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A**: 39.10 cm<sup>2</sup>

**f<sub>vd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>vd</sub>**: 261.90 MPa

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

Siendo:

$$f_v: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_v : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{810.02} \text{ kN}$$

Donde:

$$A: \text{Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.} \quad A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

$$f_{vd}: \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{vd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$$f_v: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_v : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1}: \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1 \quad \chi_v : \underline{0.79}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] \quad \phi_v : \underline{0.89}$$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_v : \underline{0.21}$$

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_v}{N_{cr}}} \quad \bar{\lambda}_v : \underline{0.81}$$

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

$$N_{cr} : \underline{1646.25} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{1646.25} \text{ kN}$$

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

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

$N_{cr,T}$ : 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:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.162} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1.$$

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{15.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 0.9 \cdot V(180^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

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

$$M_{Ed}^- : \underline{15.60} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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)

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.037} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N66, para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N66, para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.42} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$W_{pl,z}$  : 73.90 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 corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

$\eta$  : 0.048 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones  
1.35·PP+0.8·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

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

$V_{Ed}$  : 13.89 kN

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

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

$V_{c,Rd}$  : 289.23 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$  : 19.13 cm<sup>2</sup>

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$h$  : 240.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 6.20 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

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

$\lambda_{\text{máx}}$ : 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:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N66, para la combinación de acciones  
0.8·PP+1.35·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2+1.5·V(0°)H1.

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

$$V_{\text{Ed}} : \underline{0.72 \text{ kN}}$$

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

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

$$V_{\text{c,Rd}} : \underline{384.61 \text{ kN}}$$

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.

$$t_w : \underline{6.20 \text{ mm}}$$

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

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

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

Siendo:

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

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

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

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

**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  $V_{c,Rd}$ .

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

$$1.32 \text{ kN} \leq 144.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 0.9 \cdot V(90^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)1$ .

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

$$V_{Ed} : \underline{1.32} \text{ kN}$$

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

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

$$0.72 \text{ kN} \leq 192.30 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

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

$$V_{Ed} : \underline{0.72} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : 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:

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

$$\eta : \underline{0.183} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.140} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N5, para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$ .

Donde:

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

$$N_{t,Ed} : \underline{24.48} \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{15.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{1024.05} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : 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 6.3.4.1)

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

$$M_{ef,Ed} : \underline{13.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$ : Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{36.35} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$ : Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{367.00} \text{ cm}^3$$

$A$ : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{39.10} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$ : Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{96.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

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

$$1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 0.9 \cdot V(90^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(R)1.$$

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

$$1.32 \text{ kN} \leq 144.44 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{1.32} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{288.88} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1.$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : \underline{1.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.  $W_T : \underline{13.16} \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : 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 Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.038} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+1.35·puentegrúas.2+1.5·Q.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{11.05} \text{ kN}$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.  $M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : \underline{288.88} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{pl,Rd} : \underline{289.23} \text{ kN}$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.  $\tau_{T,Ed} : \underline{0.46} \text{ MPa}$

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.  $W_T : \underline{13.16} \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : 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:

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puente grúas.1} + 1.35 \cdot \text{puente grúas.2} + 1.5 \cdot Q$ .

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

$$V_{Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{384.14} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{384.61} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.46} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{13.16} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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.

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

### 2.4.3 MONTANTES

#### Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N66/N68

Perfil: #90x3 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> )
N66	N68	6.000	10.10	124.87	124.87	202.35
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L <sub>K</sub>		6.000	6.000	0.000	0.000	
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000	
C <sub>1</sub>		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

#### 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.

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

$$\bar{\lambda} : \underline{1.97} \quad \checkmark$$

Donde:

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

**Clase :** 1

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

**A :** 10.10 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> :** 71.89 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> :** 71.89 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> :** 71.89 kN

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

**N<sub>cr,T</sub> :** ∞

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

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>124.87</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>124.87</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>t</sub></b> : Momento de inercia a torsión uniforme.	<b>I<sub>t</sub></b> : <u>202.35</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>6.000</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>6.000</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>4.97</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>3.52</u> cm
	<b>i<sub>z</sub></b> : <u>3.52</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 Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

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

$$28.00 \leq 313.00 \checkmark$$

Donde:

<b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.	<b>h<sub>w</sub></b> : <u>84.00</u> mm
<b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.	<b>t<sub>w</sub></b> : <u>3.00</u> mm
<b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.	<b>A<sub>w</sub></b> : <u>5.04</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>2.70</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:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
 $0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2}$ .

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

$$N_{t,Ed} : \underline{0.07} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{264.45} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{10.10} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : 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 compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.126} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.625} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

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

$$N_{c,Ed} : \underline{33.41} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{264.45} \text{ kN}$$

Donde:

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

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A :** 10.10 cm<sup>2</sup>

**f<sub>vd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>vd</sub> :** 261.90 MPa

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

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:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{53.46} \text{ kN}$$

Donde:

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A :** 10.10 cm<sup>2</sup>

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

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1 \quad \chi_y : \underline{0.20}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right] \quad \Phi_y : \underline{2.86}$$

$$\Phi_z : \underline{2.86}$$

**α:** Coeficiente de imperfección elástica. **α<sub>y</sub> :** 0.49

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

**λ̄:** Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad \bar{\lambda}_y : \underline{1.97}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.97}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{71.89} \text{ kN}$$

**N<sub>cr,y</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{71.89} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{71.89} \text{ kN}$$

**N<sub>cr,T</sub>:** 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:

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

$$\eta : \underline{0.052} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N66, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.47} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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:

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

$$M_{c,Rd} : \underline{8.92} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{34.07} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : 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)

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N66, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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:

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

$$M_{c,Rd} : \underline{8.92} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

**Clase :** 1

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

**$W_{pl,z}$  :** 34.07 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 corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

**$\eta$  :** 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N66, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2.

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

**$V_{Ed}$  :** 0.31 kN

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

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

**$V_{c,Rd}$  :** 76.21 kN

Donde:

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

**$A_v$  :** 5.04 cm<sup>2</sup>

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

Siendo:

**$d$ :** Altura del alma.

**$d$  :** 84.00 mm

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

**$t_w$  :** 3.00 mm

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

**$f_{yd}$  :** 261.90 MPa

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

Siendo:

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

**$f_y$  :** 275.00 MPa

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad \mathbf{28.00 < 64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.  $\lambda_w$  : 28.00

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

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

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

$\varepsilon$ : 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:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \mathbf{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N66, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 0.04 kN

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \mathbf{76.47} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v$  : 5.06 cm<sup>2</sup>

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

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.  $A$  : 10.10 cm<sup>2</sup>

$d$ : Altura del alma.  $d$  : 84.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w$  : 3.00 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}$  : 261.90 MPa

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

Siendo:

$$f_v: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_v : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

**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:

$$\frac{b}{t_f} < 70 \cdot \varepsilon \quad \mathbf{30.00 < 64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

$$\lambda_w: \text{Esbeltez del alma.} \quad \lambda_w : \underline{30.00}$$

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

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

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

$$\varepsilon: \text{Factor de reducción.} \quad \varepsilon : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

$$f_{ref}: \text{Límite elástico de referencia.} \quad f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

$$f_y: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**Resistencia a 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  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad \mathbf{0.27 \text{ kN} \leq 38.11 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N66, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.27} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{76.21} \text{ kN}$$

**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  $V_{c,Rd}$ .

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

$$0.04 \text{ kN} \leq 38.24 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>ésimos</sup> se producen en un punto situado a una distancia de 0.375 m del nudo N66, para la combinación de acciones  
1.35·PP+0.8·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo p<sup>ésimo</sup>.} \quad V_{Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{76.47} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.186} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.710} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.683} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>ésimos</sup> se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo N66, para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2+1.5·V(180°)H3+0.75·N(R)1.

Donde:

$$N_{c,Ed}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo p<sup>ésimo</sup>.} \quad N_{c,Ed} : \underline{33.41} \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: \text{Momentos flectores solicitantes de cálculo p<sup>ésimos</sup>, según los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{y,Ed}^+ : \underline{0.47} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.} \quad \text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd}: \text{Resistencia a compresión de la sección bruta.} \quad N_{pl,Rd} : \underline{264.45} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: \text{Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{pl,Rd,y} : \underline{8.92} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{8.92} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$A: \text{Área de la sección bruta.} \quad A : \underline{10.10} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y}, W_{pl,z}: \text{Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad W_{pl,y} : \underline{34.07} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{34.07} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd}: \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{vd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$$f_y: \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1}: \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$k_y, k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.50}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.50}$$

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

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

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

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

$$\chi_y : \underline{0.20}$$

$$\chi_z : \underline{0.20}$$

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.97}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.97}$$

$\alpha_y, \alpha_z$ : 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 0.375 m del nudo N66, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·puentegrúas.1+0.8·puentegrúas.2.

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

$$0.27 \text{ kN} \leq 38.11 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{0.27} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{76.21} \text{ kN}$$

## 2.4.4 DIAGONALES

### Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N68/N5

Perfil: R 15 Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>v</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N68	N5	6.948	1.77	0.25	0.25	0.50	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	0.00	0.00	0.00	0.00		
	L <sub>K</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000		
	C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

### 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 de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

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

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

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

$$\mathbf{A} : \underline{1.77} \text{ cm}^2$$

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

$$\mathbf{N}_{cr} : \underline{\infty}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.892} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)1.$$

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

$$\mathbf{N}_{t,Ed} : \underline{41.26} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{46.28} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{1.77} \text{ cm}^2$$

**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.

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

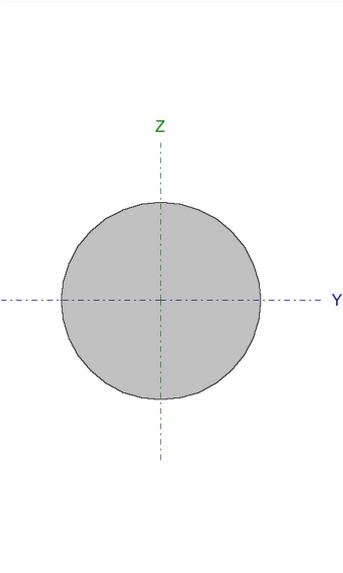
## 2.4.5 CSA

En este caso tendremos dos cruces, una situada en la parte superior (CSA1) y otra en la parte inferior (CSA2) del lateral de la fachada lateral.

- CSA1

### Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N46/N2

Perfil: R 10							
Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>v</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	N46	N2	6.500	0.79	0.05	0.05	0.10
	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	0.00	0.00	0.00	0.00	
	L <sub>K</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
C <sub>m</sub>	1.000	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 de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

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

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$\mathbf{A} : \underline{0.79} \text{ cm}^2$$

**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.

$$\mathbf{N}_{cr} : \underline{\infty}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.177} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.1} + 0.8 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

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

$N_{t,Ed}$  : 3.64 kN

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

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

$N_{t,Rd}$  : 20.57 kN

Donde:

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

$A$  : 0.79 cm<sup>2</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

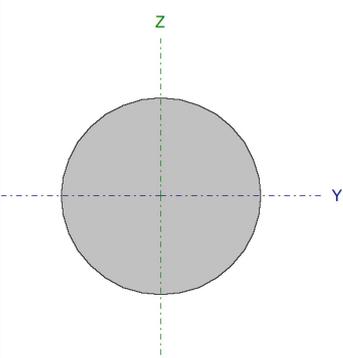
$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

• CSA2

**Comprobaciones E.L.U. (Completo)**

Barra N1/N46

Perfil: R 18 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> )
	N1	N46	9.605	2.54	0.52	0.52
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.00	0.00	0.00	0.00		
L <sub>K</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

**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 de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

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

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

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

$$\mathbf{A} : \underline{2.54} \text{ cm}^2$$

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

$$\mathbf{N}_{cr} : \underline{\infty}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.817} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

$$0.8 \cdot PP + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.1} + 1.35 \cdot \text{puentegrúas.2} + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2.$$

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

$$\mathbf{N}_{t,Ed} : \underline{52.47} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{64.22} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{2.54} \text{ cm}^2$$

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

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

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

Siendo:

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

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

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

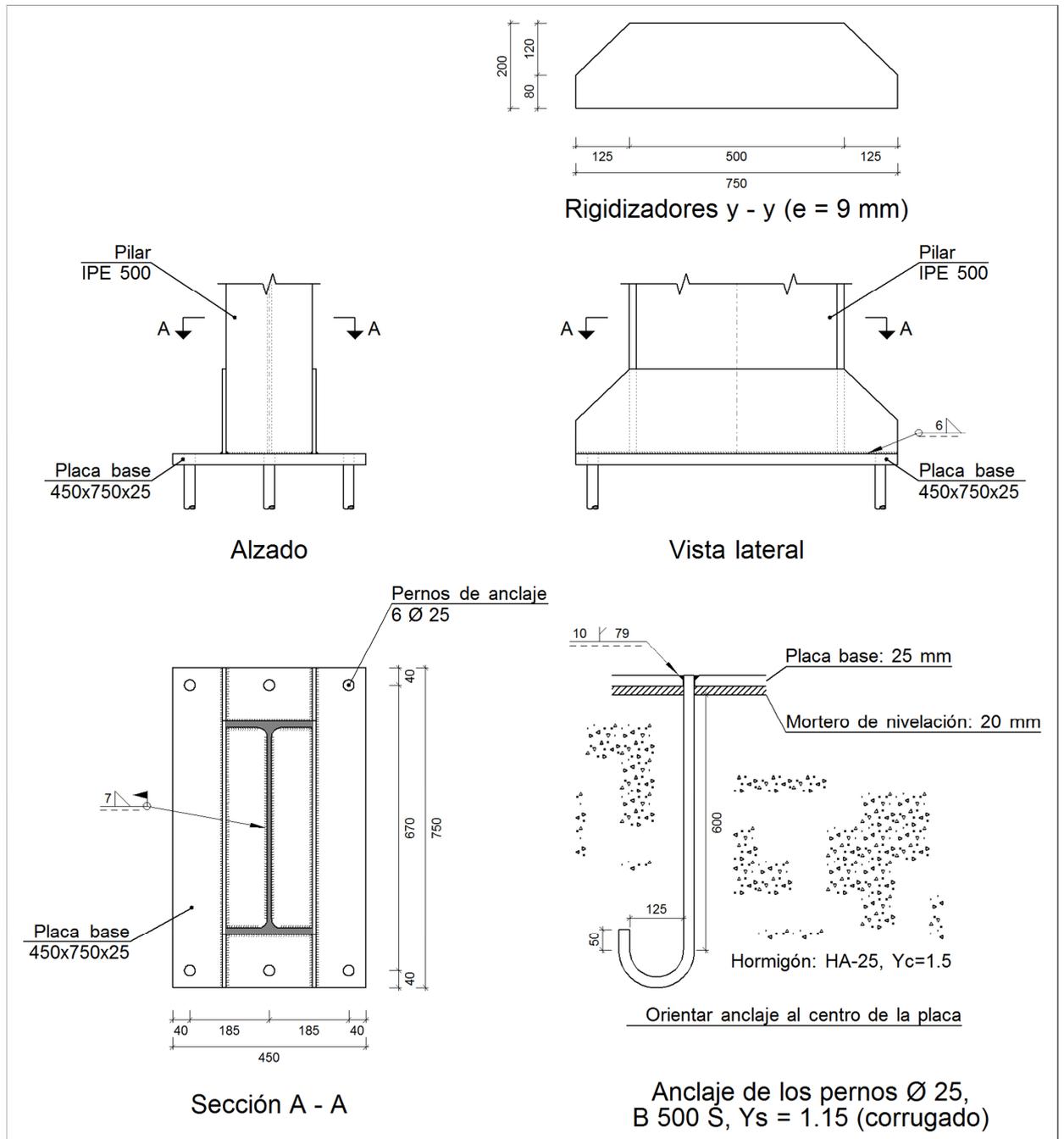
$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

## 2.5 PLACAS DE ANCLAJE

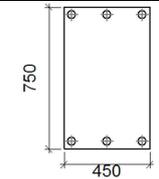
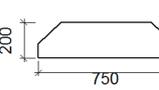
Se utilizarán pernos de barra corrugada, ya que permiten anclar con una menor longitud de barra.

### 2.5.1 Placa de anclaje Tipo 1

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Placa base		450	750	25	6	45	27	10	S275	275.0	410.0
Rigidizador		750	200	9	-	-	-	-	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar IPE 500

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	7	1548	10.2	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 75 mm Calculado: 185 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 37 mm Calculado: 40 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 45.4	Cumple

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 28 cm Calculado: 60 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 166.68 kN Calculado: 142.91 kN Máximo: 116.68 kN Calculado: 16.14 kN Máximo: 166.68 kN Calculado: 165.97 kN	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 196.4 kN Calculado: 133.66 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 278.409 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 327.38 kN Calculado: 15.1 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 77.8909 MPa Calculado: 87.93 MPa Calculado: 106.622 MPa Calculado: 143.827 MPa	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 7604.03 Calculado: 5482.87 Calculado: 11227.4 Calculado: 8393.14	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 202.973 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Rigidizador y-y (x = -105): Soldadura a la placa base	En ángulo	6	--	750	9.0	90.00
Rigidizador y-y (x = 105): Soldadura a la placa base	En ángulo	6	--	750	9.0	90.00
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	10	79	25.0	90.00

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)			l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -105): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 105): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	212.7	368.5	95.48	0.0	0.00	410.0	0.85

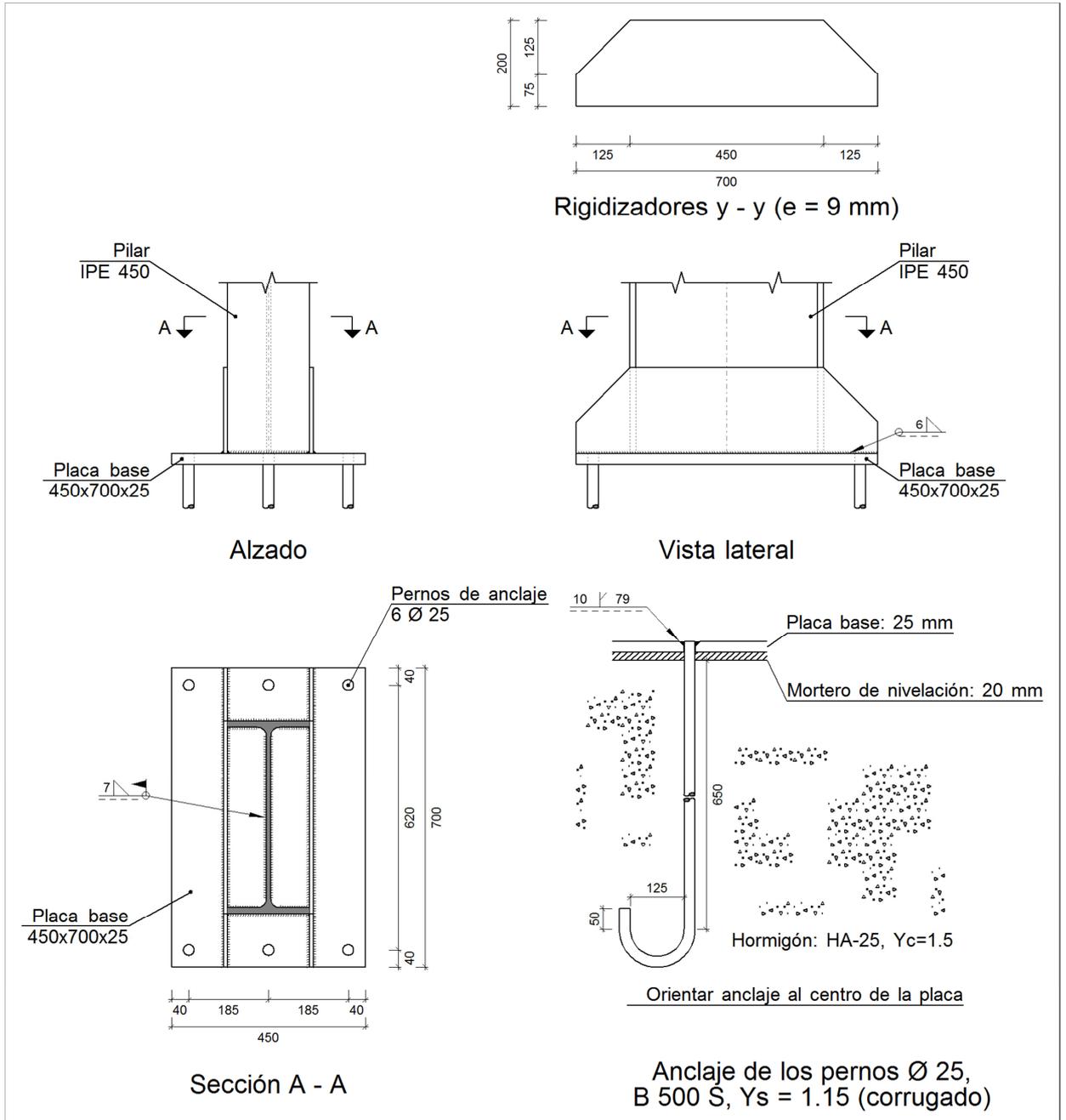
d) Medición

Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	6	2936
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	10	471
	En el lugar de montaje	En ángulo	7	1548

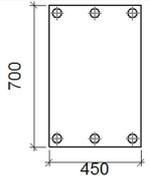
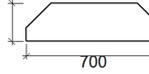
Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	450x750x25	66.23
	Rigidizadores pasantes	2	750/500x200/80x9	19.08
	Total			85.31
B 500 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)	Pernos de anclaje	6	$\varnothing 25 - L = 670 + 286$	22.09
	Total			22.09

## 2.5.2 Placa de anclaje Tipo 2

a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Placa base		450	700	25	6	45	27	10	S275	275.0	410.0
Rigidizador		700	200	9	-	-	-	-	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar IPE 450

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	7	1415	9.4	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 75 mm Calculado: 185 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 37 mm Calculado: 40 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 45.4	Cumple

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 28 cm Calculado: 65 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 180.57 kN Calculado: 146.97 kN Máximo: 126.4 kN Calculado: 15.03 kN Máximo: 180.57 kN Calculado: 168.44 kN	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 196.4 kN Calculado: 135.59 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 280.287 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 327.38 kN Calculado: 13.52 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 64.8199 MPa Calculado: 73.712 MPa Calculado: 144.36 MPa Calculado: 144.901 MPa	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 1626.69 Calculado: 2189.94 Calculado: 8433.94 Calculado: 8403.41	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 201.283 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Rigidizador y-y (x = -100): Soldadura a la placa base	En ángulo	6	--	700	9.0	90.00
Rigidizador y-y (x = 100): Soldadura a la placa base	En ángulo	6	--	700	9.0	90.00
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	10	79	25.0	90.00
<i>a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas</i>						

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -100): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 100): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	215.8	373.8	96.86	0.0	0.00	410.0	0.85

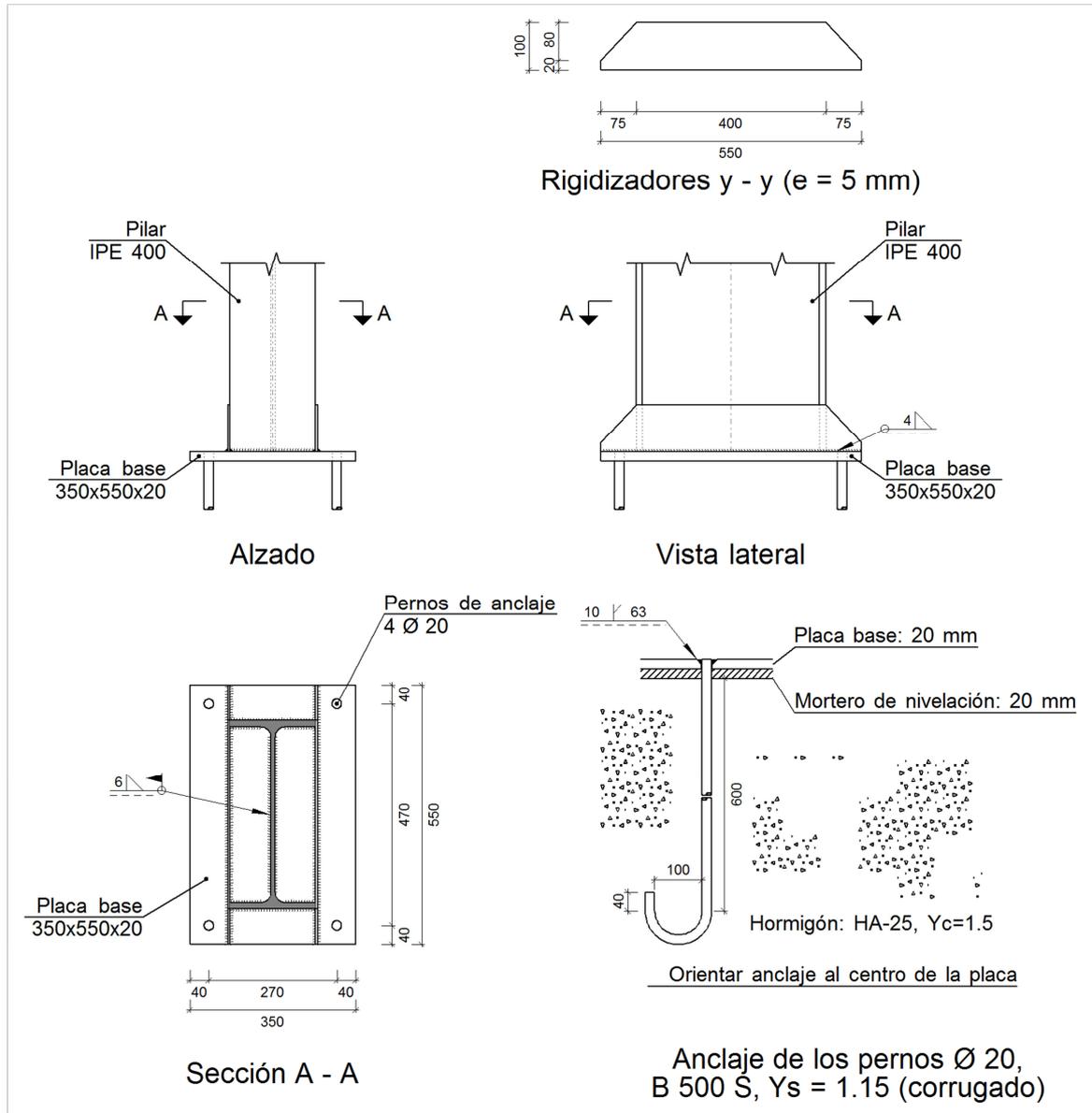
d) Medición

Soldaduras				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	6	2742
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	10	471
	En el lugar de montaje	En ángulo	7	1415

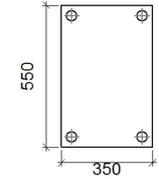
Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	450x700x25	61.82
	Rigidizadores pasantes	2	700/450x200/75x9	17.57
	Total			79.39
B 500 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)	Pernos de anclaje	6	$\varnothing 25 - L = 720 + 286$	23.25
	Total			23.25

### 2.5.3 Placa de anclaje Tipo 3

#### a) Detalle



#### b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Cantidad	Taladros			Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)		Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Placa base		350	550	20	4	40	22	10	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Rigidizador		550	100	5	-	-	-	-	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar IPE 400

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	6	1281	8.6	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 60 mm Calculado: 270 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 30 mm Calculado: 40 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 43.3	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 22 cm Calculado: 60 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción:  - Cortante:	Máximo: 133.34 kN Calculado: 103.52 kN  Máximo: 93.34 kN Calculado: 14.9 kN	Cumple  Cumple

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Tracción + Cortante:	Máximo: 133.34 kN Calculado: 124.81 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 125.6 kN Calculado: 98.27 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 316.552 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 209.52 kN Calculado: 13.4 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 232.796 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 195.724 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 126.731 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 153.438 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 575.613	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 731.162	Cumple
- Arriba:	Calculado: 10645.3	Cumple
- Abajo:	Calculado: 9560.38	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas								
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)		
Rigidizador y-y (x = -93): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	--	550	5.0	90.00		
Rigidizador y-y (x = 93): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	--	550	5.0	90.00		
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	10	63	20.0	90.00		
<i>a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas</i>								
Comprobación de resistencia								
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\parallel}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )		
Rigidizador y-y (x = -93): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85

<b>Comprobación de resistencia</b>									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{  }$ (N/mm <sup>2</sup> )	Valor (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = 93): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	195.5	338.6	87.75	0.0	0.00	410.0	0.85

d) Medición

<b>Soldaduras</b>				
$f_u$ (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	4	2146
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	10	251
	En el lugar de montaje	En ángulo	6	1281

<b>Placas de anclaje</b>				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	350x550x20	30.22
	Rigidizadores pasantes	2	550/400x100/20x5	3.85
	Total			34.07
B 500 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	4	Ø 20 - L = 660 + 228	8.76
	Total			8.76

## 2.6 CIMENTACIONES

### 2.6.1 Vigas de atado

Las vigas de atado de la estructura son iguales, la única diferencia es la longitud de cada una ellas. En los pórticos de fachada se encuentran las vigas de atado de 7 metros mientras que en los laterales su longitud es igual a 6 metros, la crujía de la nave.

En este caso se ha elegido una de las vigas más largas para la comprobación, la que une las zapatas B y F:

Referencia: C.1 [N1-N60] (Viga de atado) -Dimensiones: 40.0 cm x 40.0 cm -Armadura superior: 2Ø12 -Armadura inferior: 2Ø12 -Estribos: 1xØ8c/30		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo estribos:	Mínimo: 6 mm Calculado: 8 mm	Cumple
Separación mínima entre estribos: <i>Artículo 69.4.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 3.7 cm Calculado: 29.2 cm	Cumple
Separación mínima armadura longitudinal: <i>Artículo 69.4.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 3.7 cm	
- Armadura superior:	Calculado: 26 cm	Cumple
- Armadura inferior:	Calculado: 26 cm	Cumple
Separación máxima estribos:		
- Sin cortantes: <i>Artículo 44.2.3.4.1 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Separación máxima armadura longitudinal: <i>Artículo 42.3.1 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armadura superior:	Calculado: 26 cm	Cumple
- Armadura inferior:	Calculado: 26 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

### 2.6.2 Zapatas

- **Tipo A:** pertenecen a los pilares de los pórticos interiores.

Referencia: N13 Dimensiones: 195 x 365 x 150 Armados: Xi:Ø20c/23 Yi:Ø20c/23 Xs:Ø20c/23 Ys:Ø20c/23		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.106242 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.139204 MPa	Cumple

Referencia: N13		
Dimensiones: 195 x 365 x 150		
Armados: Xi:Ø20c/23 Yi:Ø20c/23 Xs:Ø20c/23 Ys:Ø20c/23		
Comprobación	Valores	Estado
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.215133 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 5583.9 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 24.6 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 39.44 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: -366.13 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 178.44 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m <sup>2</sup> Calculado: 117.3 kN/m <sup>2</sup>	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 150 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N13:	Mínimo: 65 cm Calculado: 141 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 0.0009	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>	Calculado: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0003	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0004	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 20 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 20 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	

Referencia: N13		
Dimensiones: 195 x 365 x 150		
Armados: Xi:Ø20c/23 Yi:Ø20c/23 Xs:Ø20c/23 Ys:Ø20c/23		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 23 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 23 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 20 cm Calculado: 191 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 28 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 28 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 28 cm Calculado: 199 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 20 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 28 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

• **Tipo B (zapata pilar hastial pórtico delantero)**

Referencia: N60		
Dimensiones: 190 x 335 x 135		
Armados: Xi:Ø16c/16 Yi:Ø16c/16 Xs:Ø16c/16 Ys:Ø16c/16		
Comprobación	Valores	Estado
<p>Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i></p> <p>- Tensión media en situaciones persistentes:</p> <p>- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:</p> <p>- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:</p>	<p>Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0867204 MPa</p> <p>Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0553284 MPa</p> <p>Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.19463 MPa</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i></p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Reserva seguridad: 254.5 %</p> <p>Reserva seguridad: 2.3 %</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Flexión en la zapata:</p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Momento: 44.75 kN·m</p> <p>Momento: 304.16 kN·m</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Cortante en la zapata:</p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Cortante: 0.00 kN</p> <p>Cortante: 153.43 kN</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Compresión oblicua en la zapata: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i></p> <p>- Situaciones persistentes:</p>	<p>Máximo: 5000 kN/m<sup>2</sup> Calculado: 101.5 kN/m<sup>2</sup></p>	<p>Cumple</p>
<p>Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i></p>	<p>Mínimo: 25 cm Calculado: 135 cm</p>	<p>Cumple</p>
<p>Espacio para anclar arranques en cimentación: - N60:</p>	<p>Mínimo: 80 cm Calculado: 127 cm</p>	<p>Cumple</p>
<p>Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección Y:</p>	<p>Mínimo: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p>	<p>Calculado: 0.001</p> <p>Mínimo: 0.0001</p> <p>Mínimo: 0.0004</p> <p>Mínimo: 0.0001</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>

Referencia: N60		
Dimensiones: 190 x 335 x 135		
Armados: Xi:Ø16c/16 Yi:Ø16c/16 Xs:Ø16c/16 Ys:Ø16c/16		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0004	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 16 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 16 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 16 cm Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 168 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm Calculado: 171 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 16 cm	Cumple

Referencia: N60		
Dimensiones: 190 x 335 x 135		
Armados: Xi:Ø16c/16 Yi:Ø16c/16 Xs:Ø16c/16 Ys:Ø16c/16		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 19 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

- **Tipo C (zapata pilar hastial pórtico trasero)**

Referencia: N61		
Dimensiones: 195 x 350 x 140		
Armados: Xi:Ø20c/24 Yi:Ø20c/24 Xs:Ø20c/24 Ys:Ø20c/24		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0905463 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.065727 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.202184 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 331.6 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 1.5 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 44.31 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: -343.49 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 158.82 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m <sup>2</sup> Calculado: 88.7 kN/m <sup>2</sup>	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 140 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N61:	Mínimo: 60 cm Calculado: 131 cm	Cumple

Referencia: N61		
Dimensiones: 195 x 350 x 140		
Armados: Xi:Ø20c/24 Yi:Ø20c/24 Xs:Ø20c/24 Ys:Ø20c/24		
Comprobación	Valores	Estado
<p>Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección Y:</p>	<p>Mínimo: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p> <p>- Armado superior dirección Y:</p>	<p>Calculado: 0.001</p> <p>Mínimo: 0.0001</p> <p>Mínimo: 0.0004</p> <p>Mínimo: 0.0001</p> <p>Mínimo: 0.0004</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i></p> <p>- Parrilla inferior:</p> <p>- Parrilla superior:</p>	<p>Mínimo: 12 mm</p> <p>Calculado: 20 mm</p> <p>Calculado: 20 mm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p> <p>- Armado superior dirección Y:</p>	<p>Máximo: 30 cm</p> <p>Calculado: 24 cm</p> <p>Calculado: 24 cm</p> <p>Calculado: 24 cm</p> <p>Calculado: 24 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p> <p>- Armado superior dirección Y:</p>	<p>Mínimo: 10 cm</p> <p>Calculado: 24 cm</p> <p>Calculado: 24 cm</p> <p>Calculado: 24 cm</p> <p>Calculado: 24 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i></p> <p>- Armado inf. dirección X hacia der:</p> <p>- Armado inf. dirección X hacia izq:</p> <p>- Armado inf. dirección Y hacia arriba:</p> <p>- Armado inf. dirección Y hacia abajo:</p>	<p>Mínimo: 20 cm</p> <p>Calculado: 20 cm</p> <p>Mínimo: 20 cm</p> <p>Calculado: 20 cm</p> <p>Mínimo: 20 cm</p> <p>Calculado: 179 cm</p> <p>Mínimo: 0 cm</p> <p>Calculado: 0 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>

Referencia: N61		
Dimensiones: 195 x 350 x 140		
Armados: Xi:Ø20c/24 Yi:Ø20c/24 Xs:Ø20c/24 Ys:Ø20c/24		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 28 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 28 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 28 cm Calculado: 187 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 20 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 28 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

- **Tipo D (pilar esquinero)**

Referencia: N3		
Dimensiones: 270 x 270 x 120		
Armados: Xi:Ø20c/29 Yi:Ø20c/29 Xs:Ø20c/29 Ys:Ø20c/29		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0481671 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0492462 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.126255 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 125.2 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 11.7 %	Cumple
Flexión en la zapata:		

Referencia: N3		
Dimensiones: 270 x 270 x 120		
Armados: Xi:Ø20c/29 Yi:Ø20c/29 Xs:Ø20c/29 Ys:Ø20c/29		
Comprobación	Valores	Estado
- En dirección X:	Momento: 95.19 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 134.76 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 58.57 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 88.68 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m <sup>2</sup> Calculado: 188.3 kN/m <sup>2</sup>	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 120 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N3:	Mínimo: 60 cm Calculado: 111 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 0.0009	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>	Calculado: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 20 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 20 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 29 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 29 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 29 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 29 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 29 cm	Cumple

Referencia: N3		
Dimensiones: 270 x 270 x 120		
Armados: Xi:Ø20c/29 Yi:Ø20c/29 Xs:Ø20c/29 Ys:Ø20c/29		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 29 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 29 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 29 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 20 cm Calculado: 154 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 20 cm Calculado: 133 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 28 cm Calculado: 162 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 28 cm Calculado: 141 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 28 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

• **Tipo E ( pilar esquinero)**

Referencia: N43		
Dimensiones: 250 x 250 x 110		
Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
<p>Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i></p> <p>- Tensión media en situaciones persistentes:</p> <p>- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:</p> <p>- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:</p>	<p>Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0810306 MPa</p> <p>Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0935874 MPa</p> <p>Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.240836 MPa</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i></p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Reserva seguridad: 83.2 %</p> <p>Reserva seguridad: 46.3 %</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Flexión en la zapata:</p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Momento: -73.52 kN·m</p> <p>Momento: 119.56 kN·m</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Cortante en la zapata:</p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Cortante: 62.10 kN</p> <p>Cortante: 88.19 kN</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Compresión oblicua en la zapata:</p> <p>- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i></p>	<p>Máximo: 5000 kN/m<sup>2</sup> Calculado: 284.1 kN/m<sup>2</sup></p>	<p>Cumple</p>
<p>Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i></p>	<p>Mínimo: 25 cm Calculado: 110 cm</p>	<p>Cumple</p>
<p>Espacio para anclar arranques en cimentación:</p> <p>- N43:</p>	<p>Mínimo: 60 cm Calculado: 102 cm</p>	<p>Cumple</p>
<p>Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección Y:</p>	<p>Mínimo: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p> <p>Calculado: 0.0009</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i></p> <p>- Armado inferior dirección X:</p> <p>- Armado inferior dirección Y:</p> <p>- Armado superior dirección X:</p>	<p>Calculado: 0.001</p> <p>Mínimo: 0.0001</p> <p>Mínimo: 0.0002</p> <p>Mínimo: 0.0002</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>

Referencia: N43		
Dimensiones: 250 x 250 x 110		
Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 16 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 20 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 20 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm Calculado: 138 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 16 cm Calculado: 117 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm Calculado: 141 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 19 cm Calculado: 120 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 16 cm	Cumple

Referencia: N43		
Dimensiones: 250 x 250 x 110		
Armados: Xi:Ø16c/20 Yi:Ø16c/20 Xs:Ø16c/20 Ys:Ø16c/20		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 19 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

- **Tipo F (pilar esquinero)**

Referencia: N1		
Dimensiones: 230 x 230 x 100		
Armados: Xi:Ø16c/22 Yi:Ø16c/22 Xs:Ø16c/22 Ys:Ø16c/22		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0328635 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0458127 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0823059 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 9.4 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 52.4 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 87.73 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 90.89 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 58.17 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 71.71 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m <sup>2</sup> Calculado: 101.4 kN/m <sup>2</sup>	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 100 cm	Cumple

Referencia: N1		
Dimensiones: 230 x 230 x 100		
Armados: Xi:Ø16c/22 Yi:Ø16c/22 Xs:Ø16c/22 Ys:Ø16c/22		
Comprobación	Valores	Estado
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N1:	Mínimo: 60 cm Calculado: 92 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado superior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009 Calculado: 0.0009	Cumple Cumple Cumple Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0002 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> - Parrilla inferior: - Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 16 mm Calculado: 16 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 22 cm Calculado: 22 cm Calculado: 22 cm Calculado: 22 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 22 cm Calculado: 22 cm Calculado: 22 cm Calculado: 22 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> - Armado inf. dirección X hacia der: - Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm Calculado: 126 cm Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple Cumple

Referencia: N1		
Dimensiones: 230 x 230 x 100		
Armados: Xi:Ø16c/22 Yi:Ø16c/22 Xs:Ø16c/22 Ys:Ø16c/22		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm Calculado: 105 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 19 cm Calculado: 129 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm Calculado: 108 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 19 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

- **Tipo G (pilar esquinero)**

Referencia: N41		
Dimensiones: 215 x 215 x 90		
Armados: Xi:Ø16c/24 Yi:Ø16c/24 Xs:Ø16c/24 Ys:Ø16c/24		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0790686 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.117622 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.237206 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		

Referencia: N41		
Dimensiones: 215 x 215 x 90		
Armados: Xi:Ø16c/24 Yi:Ø16c/24 Xs:Ø16c/24 Ys:Ø16c/24		
Comprobación	Valores	Estado
- En dirección X:	Reserva seguridad: 39.6 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 22.0 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: -69.54 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 79.50 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 63.77 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 59.74 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m <sup>2</sup> Calculado: 214.2 kN/m <sup>2</sup>	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 90 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N41:	Mínimo: 60 cm Calculado: 82 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 0.0009	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0009	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 0.0002	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 16 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple

Referencia: N41		
Dimensiones: 215 x 215 x 90		
Armados: Xi:Ø16c/24 Yi:Ø16c/24 Xs:Ø16c/24 Ys:Ø16c/24		
Comprobación	Valores	Estado
<b>Separación mínima entre barras:</b> <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 24 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 24 cm	Cumple
<b>Longitud de anclaje:</b> <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 16 cm Calculado: 119 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 16 cm Calculado: 98 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 19 cm Calculado: 122 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 19 cm Calculado: 101 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 0 cm Calculado: 0 cm	Cumple
<b>Longitud mínima de las patillas:</b>	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 19 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

## 2.7 Solera

En este apartado se calculará el espesor de la losa de hormigón en masa (HM-25) para una nave con elevada frecuencia de paso de vehículos eléctricos (E20PH de la marca Linde y Jungheinrich EFG 540K).

Se utilizará la norma americana ACI-360R para dimensionar el espesor de la solera ya que en España no disponemos de normativa específica para el diseño de las soleras. Según esta norma se tendrán en cuenta el número de ruedas de los vehículos y la carga máxima por eje.

Estos vehículos son carretillas elevadoras que mediante dos horquillas son capaces de elevar y desplazar grandes cantidades de material.

- 1- En primer lugar se determinará la resistencia característica a flexotracción a partir de la resistencia de compresión del hormigón elegido.

$$f_{ck,ff} = 9\sqrt{f_{ck}} \text{ psi}$$

Se conoce que la resistencia a compresión del hormigón utilizado para la solera es de 25MPa.

$$f_{ck} = 25 \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{1kg}{10N} \cdot \frac{100mm^2}{1cm^2} \cdot \frac{100psi}{6,98kg/cm^2} = 3581.66psi$$

Sustituyendo se obtiene que la resistencia característica a flexotracción es:

$$f_{ck,ff} = 538.62 \text{ psi}$$

- 2- A continuación se determina la resistencia de cálculo  $f_{ctd,fl}$  dividiendo por el coeficiente de seguridad (SF=1,7) y por el coeficiente de junta (se asume JF=1).

$$f_{ctd,fl} = \frac{f_{ck,ff}}{SF * JF} = \frac{538.62}{1.7 * 1} = 316.8 \text{ psi}$$

En primer lugar se dimensionará la losa de hormigón para el paso de vehículos eléctricos de la marca Linde.

Linde Material Handling 	<b>Datos técnicos 6</b>
Hoja de tipo E 20 PH, a fecha de 01/2008	

## Hoja de tipo E 20 PH, a fecha de 01/2008

1 Identificación			
1.1	Fabricante (abreviatura)		Linde
1.2	Denominación de modelo del fabricante		E 20 PH
1.3	Unidad de alimentación: batería, diésel, gasolina, gas de petróleo licuado, electricidad		Sistemas eléctricos
1.4	Funcionamiento: manual, peatón, de pie, sentado, selector de pedidos		Sentado
1.5	Capacidad de carga / Carga	Q [kg]	2.000
1.6	Distancia del centro de gravedad de la carga	c [mm]	500
1.8	Distancia de carga	x [mm]	374
1.9	Base de ruedas (con el mástil en posición vertical)	y [mm]	1.481
2 Peso			
2.1	Tara	kg	3.516
2.2	Peso sobre el eje con carga delantera/trasera	kg	4.890 / 626
2.3	Peso sobre el eje sin carga delantera/trasera	kg	1.710 / 1.806
3 Ruedas, neumáticos			
3.1	Neumáticos: de goma maciza, superelásticos, con cámara, de poliuretano		S.E.
3,2	Tamaño de neumáticos delanteros		200/50 - 10 <sup>60</sup>
3.3	Tamaño de neumáticos traseros		16 x 6 - 8 <sup>51</sup>
3.5	Ruedas, número delanteras/traseras (x = impulsadas)		2x/2
3.6	Anchura de la banda de rodadura delantera	b10 [mm]	965
3.7	Anchura de la banda de rodadura trasera	b11 [mm]	807

Figura 38. Especificaciones Linde E20 PH. Fuente: Catálogo Linde.

Del catálogo de la marca Linde de vehículos eléctricos se obtiene la carga que actúa en el eje delantero, ya que es la que concentrará más carga.

- 3- Se utilizará la tensión de cálculo por cada 1000lb de carga por eje para posteriormente entrar en la Tabla 19.

$$P_{\max.en.eje} = 4890kg$$

$$4890kg \cdot \frac{1lb}{0.45kg} = 10866lb \longrightarrow 10.866klb$$

$$\frac{f_{ctd,ff}}{f_{\max.en.eje}} = \frac{316.8psi}{10.866klb} = 29.155psi / 1000lb$$

- 4- Se calcula el área efectiva de contacto de las ruedas con la losa de hormigón.

$$A = \frac{P_{rueda}}{p} = \frac{P_{max.en.eje} / 2}{p} = \frac{(4890/2)kg}{7kg/cm^2} = 349.28cm^2$$

La presión de hinchado de las ruedas es  $p=7kg/cm^2$

$$A = 349.28cm^2 \cdot \frac{in^2}{(2.54)^2} = 54.14in^2$$

- 5- Se determinará el espesor en función de 'k' (coeficiente de balasto). Se asume un coeficiente de balasto de  $5,8 kp/cm^3$  que corresponde a un terreno normal.

$$k = 5.8 \frac{kp}{cm^3} \cdot \frac{100pci}{2.75kp/cm^3} = 210.9pci$$

- 6- Se busca en el catálogo la distancia entre las ruedas delanteras de la carretilla:

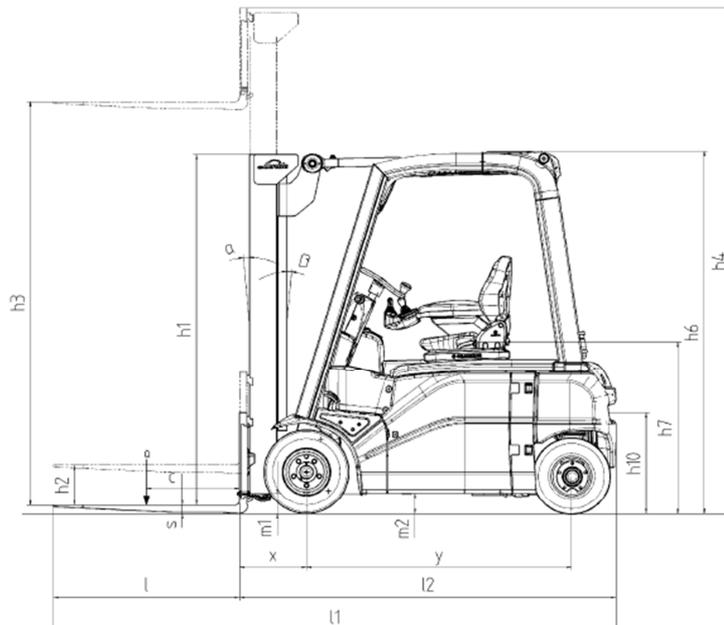


Figura 49. Perfil máquina elevadora. Fuente: Catalogo Linde

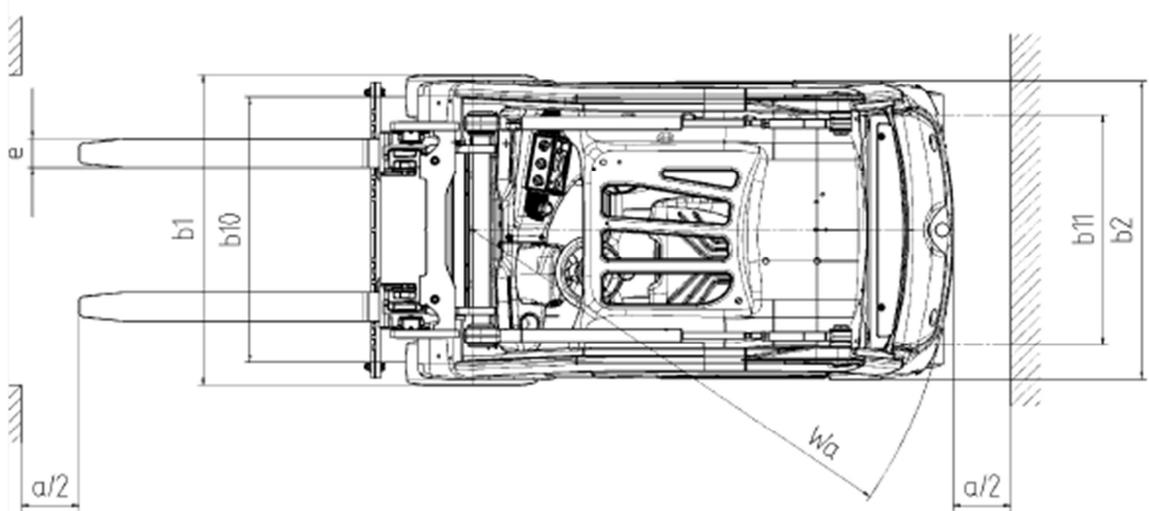


Figura 50. Planta máquina elevadora. Fuente: catálogo Linde

$$b_{10} = 96.5\text{cm} \cdot \frac{1\text{in}}{2.54\text{cm}} = 38\text{in}$$

Una vez se tienen todos los datos necesarios, se entrará en la gráfica y se determinará el espesor final de la losa.

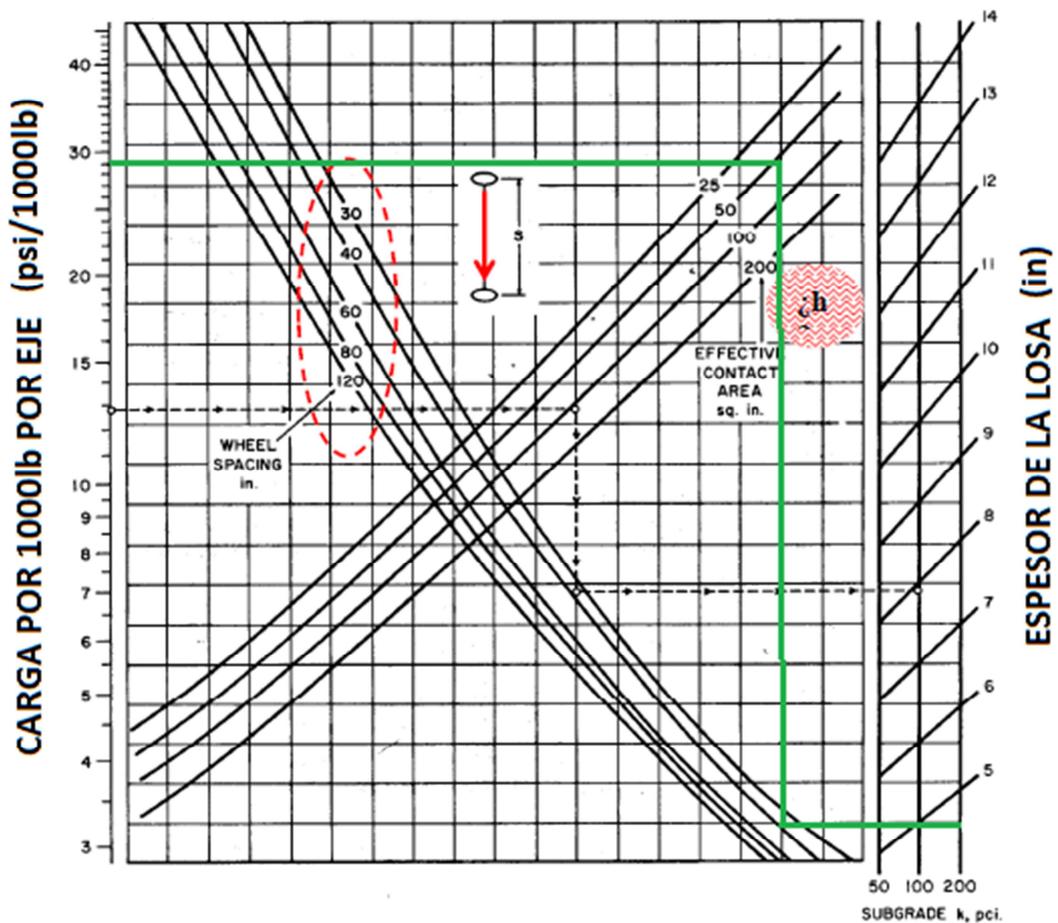


Figura 51. Curvas de la PCA. Rueda simple. Fuente: ACI360-R

Para poder leer la gráfica de la Tabla 19 se deben seguir los siguientes pasos:

- Se entrará en la gráfica por la parte izquierda (carga por 1000lb por eje). En este primer caso se tendrá un valor de 29,15psi/1000lb.
- Se busca la curva de área efectiva de contacto.
- Una vez la recta se cruce con la curva de área de contacto efectiva, la recta descenderá por la gráfica hasta encontrarse con la curva separación de ruedas.
- Cuando se encuentre con esta curva la recta (separación de ruedas), se proyectará en horizontal hasta  $k=200pci$ , ya que el coeficiente de balasto que se ha asumido es mayor que la máxima que nos proporciona la gráfica.

Como resultado final se tiene que el espesor de la losa será de 4.5 pulgadas, aproximadamente 11,5 centímetros.

La norma ACI360R detalla que la solera de la nave debe tener un espesor mínimo de 15 centímetros, así que se dimensionará la solera para los vehículos de la marca Jungheinrich y se comprobará si es necesario aumentar el espesor de la solera.

A continuación se utilizará el catálogo de la marca Jungheinrich y se seguirán los mismos pasos que antes:

		Jungheinrich						
		EFG 535k	EFG 540k	EFG 540	EFG 545k			
Matrícula	1.1	Fabricante (abreviatura)						
	1.2	Denominación de tipos del fabricante						
	1.3	Tracción						
	1.4	Manejo manual, a pie, en plataforma, sentado, en carretillas recoge-pedidos						
	1.5	Capacidad de carga/carga	Q	t	3,5	4	4	4,5
	1.6	Distancia al centro de gravedad de la carga	c	mm		500		
	1.8	Distancia a la carga	x	mm	519	532	532	532
	1.9	Distancia entre ejes	y	mm	1.856	1.856	2.000	1.856
	Pesos	2.1.1	Tara incl. batería (véase línea 6.5)		kg	5.830	6.726	6.701
2.2		Peso de eje con carga delante/detrás		kg	8.310 / 1.020	9.730 / 996	9.726 / 975	10.608 / 1.078
2.3		Peso por eje sin carga delante/detrás		kg	2.960 / 2.870	3.553 / 3.173	3.706 / 2.995	3.659 / 3.527
Ruedas/chasis	3.1	Bandaje						
	3.2	Tamaño de ruedas, delanteras		mm	250-15	250-15	250-15	28 x 12, 5-15
	3.3	Tamaño de ruedas, traseras		mm		21 x 8-9		
	3.5	Ruedas, cantidad delante/detrás (x = motrices)				2x2		
	3.6	Ancho de vía, delante	$b_{10}$	mm	1.115	1.115	1.115	1.155
	3.7	Ancho de vía, detrás	$b_{11}$	mm		990		

Figura 52. Características máquina elevadora Jungheinrich. Fuente: Catálogo Jungheinrich

$$P_{\max.en.eje} = 9730kg$$

$$9730kg \cdot \frac{1lb}{0.45kg} = 21622.2lb \longrightarrow 21.62klb$$

$$\frac{f_{ctd,ff}}{f_{\max.en.eje}} = \frac{316.8psi}{21.62klb} = 14.65psi/1000lb$$

$$A = \frac{P_{rueda}}{p} = \frac{P_{\max.en.eje} / 2}{p} = \frac{(9730 / 2)kg}{7kg/cm^2} = 695cm^2$$

$$A = 695cm^2 \cdot \frac{in^2}{(2.54)^2} = 107.72in^2$$

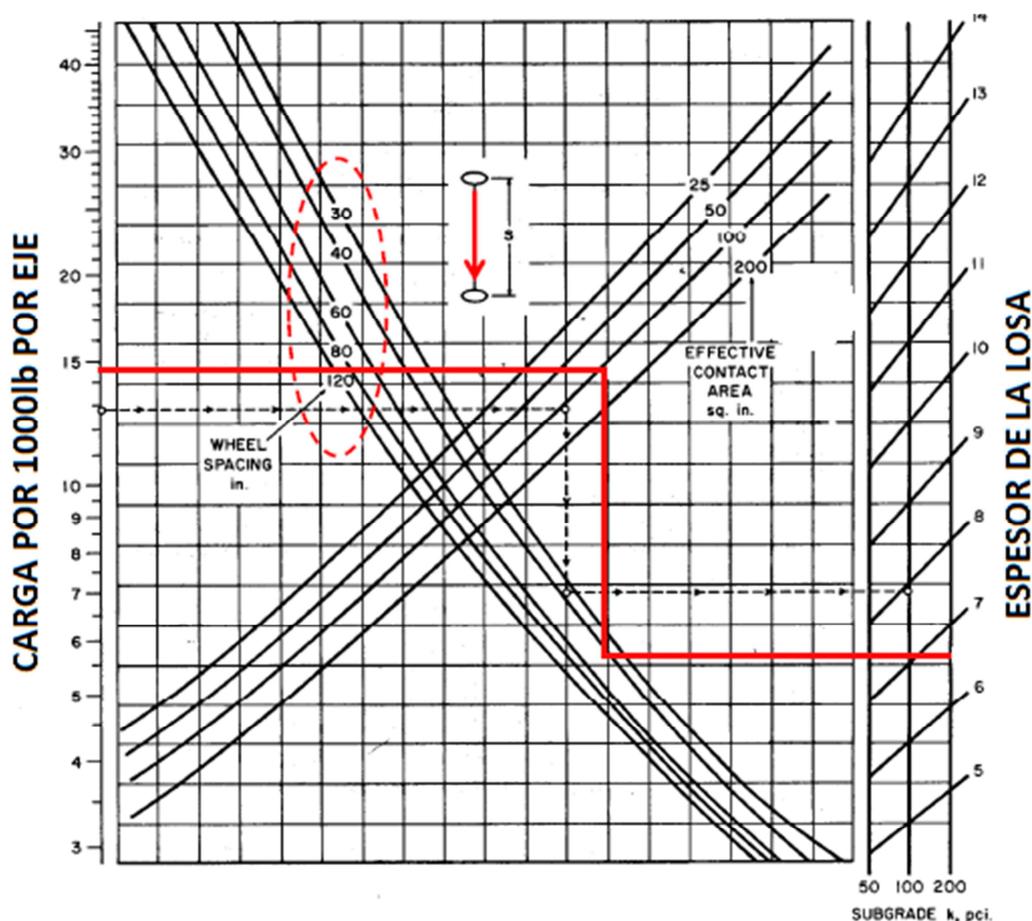


Figura 53. Curvas de la PCA. Rueda simple. Fuente: ACI360-R

Como resultado final, se observa en la gráfica que el espesor de la solera (h) será de 6.7pulgadas, aproximadamente 17centímetros aunque se modulará a 20 centímetros. El paso de los vehículos de la marca Jungheinrich será el más crítico para la solera, así que se tendrá que dimensionar la solera teniendo en cuenta el paso de estos vehículos.

### Juntas

En este apartado se calculará la separación con máximo número de las diferentes juntas para la nave industrial.

- **Juntas de Contracción**

La PCA propone para soleras de hormigón en masa (tipo A) una separación entre juntas de contracción dada por la siguiente tabla.

Tabla 29. Espesor según su composición. Fuente: ACI360-R

Espesor de la losa(cm)	Composición fluida		Composición Blanda
	Asiento cono de Abrahams de 10 a 15 cm.		
	D<20 mm	D>20 mm	Asiento menor de 10 cm.
12.5	305 (10)	396 (13)	457 (15)
15	366 (12)	457 (15)	549 (18)
17.5	427 (14)	549 (18)	640 (21)
20	488 (16)	610 (20)	732 (24)
22.5	549 (18)	701 (23)	823 (27)
25	610 (20)	732 (24)	914 (30)

En la tabla se entra con el valor del canto de la losa calculada anteriormente ( $h = 20$  centímetros). Con este dato se escoge tamaño máximo de árido de 20 milímetros y consistencia de 10 a 15 centímetros, se tendrá una separación de 488 centímetros entre las juntas.

Como el valor obtenido es menor que la distancia entre pilares, se opta por colocar una junta en el punto medio de la distancia entre pilares de fachada (pórtico de fachada) y dividir por 2 la distancia transversal entre pilares laterales (crujía), como se ve puede observar en la Figura 54 los paneles tendrán unas dimensiones de 3,5x3 metros. Así se consigue una relación entre los lados de los paneles de 1-1.5 y la diagonal de los paneles resultantes es menor de 8,5 metros como recomienda la norma

$$\frac{L_{longitudinal}}{L_{transversal}} = \frac{3.5}{3} = 1.16$$

$$D = \sqrt{L_{longitudinal}^2 + L_{transversal}^2} = \sqrt{3.5^2 + 3^2} = 4.6 \text{ metros} < 8.5 \text{ metros}$$

- **Juntas de construcción**

Las juntas longitudinales de construcción aparecen como consecuencia de la extensión en el proceso de hormigonado y se recomienda que la separación máxima que exista entre juntas sea de 5 metros.

Las juntas transversales aparecen a consecuencia de la interrupción en el proceso de hormigonado y la separación máxima que se debe tener entre juntas es de 10-15 metros.

Si es posible, estas juntas se hacen coincidir con las juntas de contracción, por tanto las juntas de construcción tendrán unas dimensiones de 3,5x 6 metros como se ve en la figura 54 en color verde.

Al haber considerado en el apartado anterior un coeficiente de junta igual a 1, las juntas serán con pasador.

- **Juntas de encuentro**

Las juntas de encuentro se utilizan para independizar a la solera, estructuralmente hablando, del resto de elementos del edificio para permitir movimientos diferenciales horizontales y verticales (color naranja).

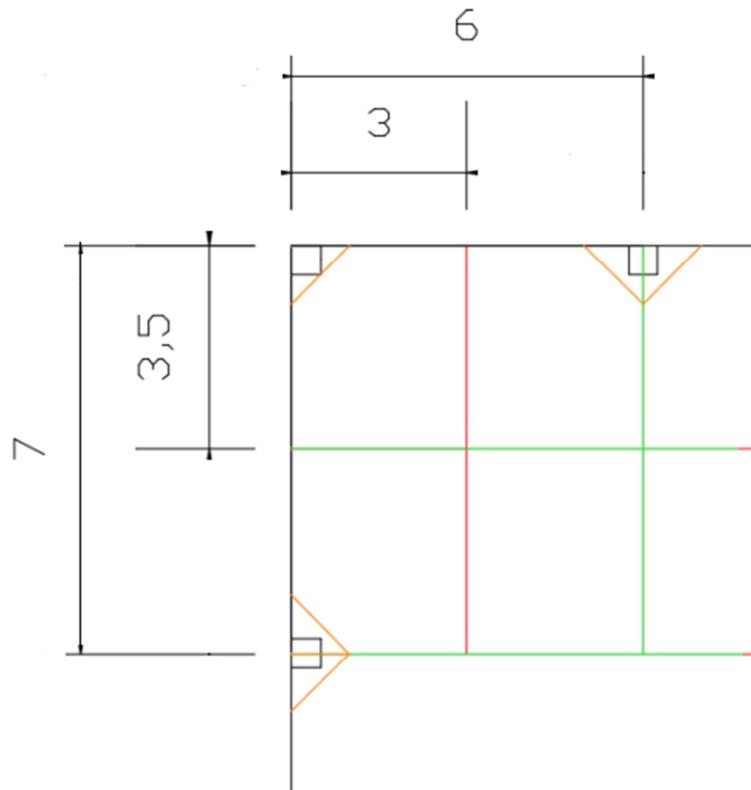


Figura 54. Disposición de las juntas (cotas en m.)

- **Armadura de retracción.**

A continuación se determinará si es necesaria la disposición de armadura de retracción. Esta se colocará en el tercio superior del espesor de la losa, estando entre 3 y 5 centímetros el valor del recubrimiento mínimo.

Para determinar si es necesaria la armadura, se utilizará el método de arrastre sobre la sub-base. Conociendo el espesor de la losa y las dimensiones de los paneles de juntas, se consultará el gráfico de la Figura 55.

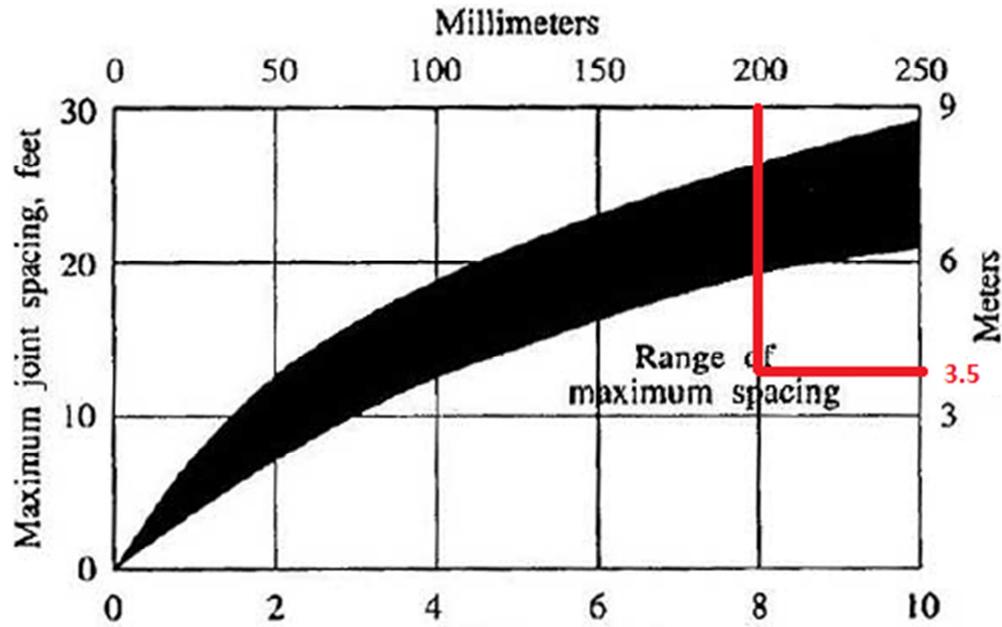


Figura 55. Método de arrastre sobre sub-base

Para poder entrar en la gráfica se necesitan los valores obtenidos en apartados anteriores: espesor de la losa (200 mm) y separación máxima entre juntas (3.5 m). Al introducir los datos en el gráfico, las rectas se cruzan por debajo de la zona sombreada, por lo que no es necesario disponer de armadura.

## **3. PLIEGO DE CONDICIONES**

3.	PLIEGO DE CONDICIONES.....	178
3.1	DISPOSICIONES DE CARÁCTER GENERAL .....	181
3.1.1	Objeto del Pliego de Condiciones .....	181
3.1.2	Contrato de obra .....	181
3.1.3	Documentación del contrato de obra .....	181
3.1.4	Reglamentación urbanística .....	181
3.1.5	Formalización del Contrato de Obra .....	181
3.1.6	Jurisdicción competente .....	182
3.1.7	Responsabilidad del contratista .....	182
3.1.8	Daños y perjuicios a terceros .....	182
3.1.9	Copia de documentos.....	182
3.1.10	Suministro de materiales .....	182
3.1.11	Causas de rescisión del contrato de obra .....	182
3.1.12	Omisiones: Buena fe.....	183
3.2	DISPOSICIONES RELATIVAS A TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES.....	183
3.2.1	Accesos y vallados .....	183
3.2.2	Replanteo .....	183
3.2.3	Inicio de la obra y ritmo de ejecución de los trabajos .....	184
3.2.4	Facilidades para otros contratistas .....	184
3.2.5	Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor .....	184
3.2.6	Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones del proyecto.....	184
3.2.7	Prórroga por causa de fuerza mayor.....	184
3.2.8	Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra.....	185
3.2.9	Procedencia de materiales, aparatos y equipos .....	185
3.2.10	Presentación de muestras.....	185
3.2.11	Gastos ocasionados por pruebas y ensayos.....	185
3.2.12	Limpieza de las obras .....	185
3.3	DISPOSICIONES FACULTATIVAS.....	185
3.3.1	El promotor .....	185
3.3.2	El proyectista.....	186
3.3.3	El constructor o contratista.....	186
3.3.4	El director de obra.....	186
3.3.5	El director de la ejecución de la obra .....	186
3.3.6	La dirección facultativa.....	186
3.3.7	Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación.....	186

3.3.8	Los suministradores de productos .....	186
3.3.9	Los propietarios y los usuarios .....	186
3.3.10	DOCUMENTACIÓN FINAL DE OBRA: LIBRO DEL EDIFICIO .....	187
3.4	DISPOSICIÓN ECONÓMICA.....	187
3.4.1	DEFINICIÓN.....	187
3.4.2	CONTRATO DE OBRA .....	187
3.4.3	CRITERIO GENERAL.....	188
3.4.4	FIANZAS .....	188
3.4.5	DE LOS PRECIOS.....	188
3.4.6	VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS .....	189
3.4.7	INDEMNIZACIONES MUTUAS .....	190
3.4.8	VARIOS.....	191
3.4.9	Retenciones en concepto de garantía.....	191
3.4.10	LIQUIDACIÓN ECONÓMICA DE LAS OBRAS .....	191
3.4.11	LIQUIDACIÓN FINAL DE LA OBRA .....	192
3.5	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES .....	192
3.5.1	PRESCRIPCIONES SOBRE LOS MATERIALES .....	192
3.5.2	Garantías de calidad (Marcado CE) .....	192

### **3.1 DISPOSICIONES DE CARÁCTER GENERAL**

#### **3.1.1 Objeto del Pliego de Condiciones**

La finalidad de este Pliego es la de fijar los criterios de la relación que se establece entre los agentes que intervienen en las obras definidas en el presente proyecto y servir de base para la realización del contrato de obra entre el promotor y el contratista.

#### **3.1.2 Contrato de obra**

Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. A tal fin, el director de obra ofrece la documentación necesaria para la realización del contrato de obra.

#### **3.1.3 Documentación del contrato de obra**

Integran el contrato de obra los siguientes documentos, relacionados por orden de prelación atendiendo al valor de sus especificaciones, en el caso de posibles interpretaciones, omisiones o contradicciones:

- Las condiciones fijadas en el contrato de obra.
- El presente Pliego de Condiciones.
- La documentación gráfica y escrita del Proyecto: planos generales y de detalle, memorias, anejos, mediciones y presupuestos.

En el caso de interpretación, prevalecen las especificaciones literales sobre las gráficas y las cotas sobre las medidas a escala tomadas de los planos.

#### **3.1.4 Reglamentación urbanística**

La obra a construir se ajustará a todas las limitaciones del proyecto aprobado por los organismos competentes, especialmente las que se refieren al volumen, alturas, emplazamiento y ocupación del solar, así como a todas las condiciones de reforma del proyecto que pueda exigir la Administración para ajustarlo a las Ordenanzas y a las Normas Vigentes.

#### **3.1.5 Formalización del Contrato de Obra**

Los Contratos se formalizarán, en general, mediante documento privado, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes.

El cuerpo de estos documentos contendrá:

- La comunicación de la adjudicación.
- La copia del recibo de depósito de la fianza (en caso de que se haya exigido).
- La cláusula en la que se exprese, de forma categórica, que el contratista se obliga al cumplimiento estricto del contrato de obra, conforme a lo previsto en este Pliego de Condiciones, junto con la Memoria y sus Anejos, el Estado de Mediciones, Presupuestos, Planos y todos los documentos que han de servir de base para la realización de las obras definidas en el presente Proyecto.

El contratista, antes de la formalización del contrato de obra, dará también su conformidad con la firma al pie del Pliego de Condiciones, los Planos, Cuadro de Precios y Presupuesto General. Serán a cuenta del adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne el contratista.

### **3.1.6 Jurisdicción competente**

En el caso de no llegar a un acuerdo cuando surjan diferencias entre las partes, ambas quedan obligadas a someter la discusión de todas las cuestiones derivadas de su contrato a las Autoridades y Tribunales Administrativos con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese ubicada la obra.

### **3.1.7 Responsabilidad del contratista**

El contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el Proyecto.

En consecuencia, quedará obligado a la demolición y reconstrucción de todas las unidades de obra con deficiencias o mal ejecutadas, sin que pueda servir de excusa el hecho de que la Dirección Facultativa haya examinado y reconocido la construcción durante sus visitas de obra, ni que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

### **3.1.8 Daños y perjuicios a terceros**

El contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las colindantes o contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiere lugar, y de todos los daños y perjuicios que puedan ocasionarse o causarse en las operaciones de la ejecución de las obras.

Asimismo, será responsable de los daños y perjuicios directos o indirectos que se puedan ocasionar frente a terceros como consecuencia de la obra, tanto en ella como en sus alrededores, incluso los que se produzcan por omisión o negligencia del personal a su cargo, así como los que se deriven de los subcontratistas e industriales que intervengan en la obra.

Es de su responsabilidad mantener vigente durante la ejecución de los trabajos una póliza de seguros frente a terceros, en la modalidad de "Todo riesgo al derribo y la construcción", suscrita por una compañía aseguradora con la suficiente solvencia para la cobertura de los trabajos contratados. Dicha póliza será aportada y ratificada por el promotor, no pudiendo ser cancelada mientras no se firme el Acta de Recepción Provisional de la obra.

### **3.1.9 Copia de documentos**

El contratista, a su costa, tiene derecho a sacar copias de los documentos integrantes del Proyecto.

### **3.1.10 Suministro de materiales**

Se especificará en el Contrato la responsabilidad que pueda caber al contratista por retraso en el plazo de terminación o en plazos parciales, como consecuencia de deficiencias o faltas en los suministros.

### **3.1.11 Causas de rescisión del contrato de obra**

Se considerarán causas suficientes de rescisión de contrato:

a) La muerte o incapacitación del contratista.

b) La quiebra del contratista.

c) Las alteraciones del contrato por las causas siguientes:

a. La modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales del mismo a juicio del director de obra y, en cualquier caso, siempre que la variación del

Presupuesto de Ejecución Material, como consecuencia de estas modificaciones, represente una desviación mayor del 20%.

- b. Las modificaciones de unidades de obra, siempre que representen variaciones en más o en menos del 40% del proyecto original, o más de un 50% de unidades de obra del proyecto reformado.
- d) La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año y, en todo caso, siempre que por causas ajenas al contratista no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación. En este caso, la devolución de la fianza será automática.
- e) Que el contratista no comience los trabajos dentro del plazo señalado en el contrato.
- f) El incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- g) El vencimiento del plazo de ejecución de la obra.
- h) El abandono de la obra sin causas justificadas.
- i) La mala fe en la ejecución de la obra.

### **3.1.12 Omisiones: Buena fe**

Las relaciones entre el promotor y el contratista, reguladas por el presente Pliego de Condiciones y la documentación complementaria, presentan la prestación de un servicio al promotor por parte del contratista mediante la ejecución de una obra, basándose en la BUENA FE mutua de ambas partes, que pretenden beneficiarse de esta colaboración sin ningún tipo de perjuicio. Por este motivo, las relaciones entre ambas partes y las omisiones que puedan existir en este Pliego y la documentación complementaria del proyecto y de la obra, se entenderán siempre suplidas por la BUENA FE de las partes, que las subsanarán debidamente con el fin de conseguir una adecuada CALIDAD FINAL de la obra.

## **3.2 DISPOSICIONES RELATIVAS A TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS AUXILIARES**

Se describen las disposiciones básicas a considerar en la ejecución de las obras, relativas a los trabajos, materiales y medios auxiliares, así como a las recepciones de los edificios objeto del presente proyecto y sus obras anejas.

### **3.2.1 Accesos y vallados**

El contratista dispondrá, por su cuenta, los accesos a la obra, el cerramiento o el vallado de ésta y su mantenimiento durante la ejecución de la obra, pudiendo exigir el director de ejecución de la obra su modificación o mejora.

### **3.2.2 Replanteo**

El contratista iniciará "in situ" el replanteo de las obras, señalando las referencias principales que mantendrá como base de posteriores replanteos parciales. Dichos trabajos se considerarán a cargo del contratista e incluidos en su oferta económica.

Asimismo, someterá el replanteo a la aprobación del director de ejecución de la obra y, una vez éste haya dado su conformidad, preparará el Acta de Inicio y Replanteo de la Obra acompañada de un plano de replanteo definitivo, que deberá ser aprobado por el director de obra. Será responsabilidad del contratista la deficiencia o la omisión de este trámite.

### **3.2.3 Inicio de la obra y ritmo de ejecución de los trabajos**

El contratista dará comienzo a las obras en el plazo especificado en el respectivo contrato, desarrollándose de manera adecuada para que dentro de los períodos parciales señalados se realicen los trabajos, de modo que la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo establecido en el contrato.

Será obligación del contratista comunicar a la Dirección Facultativa el inicio de las obras, de forma fehaciente y preferiblemente por escrito, al menos con tres días de antelación.

El director de obra redactará el acta de comienzo de la obra y la suscribirán en la misma obra junto con él, el día de comienzo de los trabajos, el director de la ejecución de la obra, el promotor y el contratista.

### **3.2.4 Facilidades para otros contratistas**

De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el contratista dará todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que le sean encomendados a los Subcontratistas u otros Contratistas que intervengan en la ejecución de la obra.

### **3.2.5 Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor**

Cuando se precise ampliar el Proyecto, por motivo imprevisto o por cualquier incidencia, no se interrumpirán los trabajos, continuándose según las instrucciones de la Dirección Facultativa en tanto se formula o se tramita el Proyecto Reformado.

El contratista está obligado a realizar, con su personal y sus medios materiales, cuanto la dirección de ejecución de la obra disponga para apeos, apuntalamientos, derribos, recalces o cualquier obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

### **3.2.6 Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones del proyecto**

El contratista podrá requerir del director de obra o del director de ejecución de la obra, según sus respectivos cometidos y atribuciones, las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de la obra proyectada.

Cuando se trate de interpretar, aclarar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos, croquis, órdenes e instrucciones correspondientes, se comunicarán necesariamente por escrito al contratista, estando éste a su vez obligado a devolver los originales o las copias, suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos e instrucciones que reciba tanto del director de ejecución de la obra, como del director de obra.

Cualquier reclamación que crea oportuno hacer el contratista en contra de las disposiciones tomadas por la Dirección Facultativa, habrá de dirigirla, dentro del plazo de tres días, a quien la hubiera dictado, el cual le dará el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

### **3.2.7 Prórroga por causa de fuerza mayor**

Si, por causa de fuerza mayor o independientemente de la voluntad del contratista, éste no pudiese comenzar las obras, tuviese que suspenderlas o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para su cumplimiento, previo informe favorable del director de obra. Para ello, el contratista expondrá, en escrito dirigido al director de obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

### **3.2.8 Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra**

El contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito, no se le hubiese proporcionado.

### **3.2.9 Procedencia de materiales, aparatos y equipos**

El contratista tiene libertad de proveerse de los materiales, aparatos y equipos de todas clases donde considere oportuno y conveniente para sus intereses, excepto en aquellos casos en los se preceptúe una procedencia y características específicas en el proyecto.

Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo, acopio y puesta en obra, el contratista deberá presentar al director de ejecución de la obra una lista completa de los materiales, aparatos y equipos que vaya a utilizar, en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre sus características técnicas, marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

### **3.2.10 Presentación de muestras**

A petición del director de obra, el contratista presentará las muestras de los materiales, aparatos y equipos, siempre con la antelación prevista en el calendario de obra.

### **3.2.11 Gastos ocasionados por pruebas y ensayos**

Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras correrán a cargo y cuenta del contratista.

### **3.2.12 Limpieza de las obras**

Es obligación del contratista mantener limpias las obras y sus alrededores tanto de escombros como de materiales sobrantes, retirar las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como ejecutar todos los trabajos y adoptar las medidas que sean apropiadas para que la obra presente buen aspecto.

## **3.3 DISPOSICIONES FACULTATIVAS**

### **DEFINICIÓN, ATRIBUCIONES Y OBLIGACIONES DE LOS AGENTES DE LA EDIFICACIÓN**

Las atribuciones de los distintos agentes intervinientes en la edificación son las reguladas por la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación".

Se definen agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas, que intervienen en el proceso de la edificación. Sus obligaciones quedan determinadas por lo dispuesto en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación" y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención.

Las definiciones y funciones de los agentes que intervienen en la edificación quedan recogidas en el capítulo III "Agentes de la edificación", considerándose:

#### **3.3.1 El promotor**

Es la persona física o jurídica, pública o privada, que individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

### **3.3.2 El proyectista**

Es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto.

### **3.3.3 El constructor o contratista**

Es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al Proyecto y al Contrato de obra.

### **3.3.4 El director de obra**

Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas, y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.

### **3.3.5 El director de la ejecución de la obra**

Es el agente que, formando parte de la Dirección Facultativa, asume la función técnica de dirigir la Ejecución Material de la Obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y calidad de lo edificado.

### **3.3.6 La dirección facultativa**

La Dirección Facultativa está compuesta por la Dirección de Obra y la Dirección de Ejecución de la Obra. A la Dirección Facultativa se integrará el Coordinador en materia de Seguridad y Salud en fase de ejecución de la obra, en el caso de que se haya adjudicado dicha misión a facultativo distinto de los anteriores.

Representa técnicamente los intereses del promotor durante la ejecución de la obra, dirigiendo el proceso de construcción en función de las atribuciones profesionales de cada técnico participante.

### **3.3.7 Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación**

Prestar asistencia técnica y entregar los resultados de su actividad al agente autor del encargo y, en todo caso, al director de la ejecución de la obra.

Justificar la capacidad suficiente de medios materiales y humanos necesarios para realizar adecuadamente los trabajos contratados, en su caso, a través de la correspondiente acreditación oficial otorgada por las Comunidades Autónomas con competencia en la materia.

### **3.3.8 Los suministradores de productos**

Realizar las entregas de los productos de acuerdo con las especificaciones del pedido, respondiendo de su origen, identidad y calidad, así como del cumplimiento de las exigencias que, en su caso, establezca la normativa técnica aplicable.

Facilitar, cuando proceda, las instrucciones de uso y mantenimiento de los productos suministrados, así como las garantías de calidad correspondientes, para su inclusión en la documentación de la obra ejecutada.

### **3.3.9 Los propietarios y los usuarios**

Son obligaciones de los propietarios conservar en buen estado la edificación mediante un adecuado uso y mantenimiento, así como recibir, conservar y transmitir la documentación de la obra ejecutada y los seguros y garantías con que ésta cuenta.

Son obligaciones de los usuarios sean o no propietarios, la utilización adecuada de los edificios o de parte de los mismos de conformidad con las instrucciones de uso y mantenimiento contenidas en la documentación de la obra ejecutada.

### **3.3.10 DOCUMENTACIÓN FINAL DE OBRA: LIBRO DEL EDIFICIO**

De acuerdo a la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación", una vez finalizada la obra, el proyecto con la incorporación, en su caso, de las modificaciones debidamente aprobadas, será facilitada al promotor por el director de obra para la formalización de los correspondientes trámites administrativos.

A dicha documentación se adjuntará, al menos, el acta de recepción, la relación identificativa de los agentes que han intervenido durante el proceso de edificación, así como la relativa a las instrucciones de uso y mantenimiento del edificio y sus instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación.

Toda la documentación a que hacen referencia los apartados anteriores, que constituirá el Libro del Edificio, será entregada a los usuarios finales del edificio.

## **3.4 DISPOSICIÓN ECONÓMICA**

### **3.4.1 DEFINICIÓN**

Las condiciones económicas fijan el marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra. Tienen un carácter subsidiario respecto al contrato de obra, establecido entre las partes que intervienen, promotor y contratista, que es en definitiva el que tiene validez.

### **3.4.2 CONTRATO DE OBRA**

Se aconseja que se firme el contrato de obra, entre el promotor y el contratista, antes de iniciarse las obras, evitando en lo posible la realización de la obra por administración. A la Dirección Facultativa (director de obra y director de ejecución de la obra) se le facilitará una copia del contrato de obra, para poder certificar en los términos pactados.

Sólo se aconseja contratar por administración aquellas partidas de obra irrelevantes y de difícil cuantificación, o cuando se desee un acabado muy esmerado.

El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la Dirección Facultativa pueda, de hecho, COORDINAR, DIRIGIR y CONTROLAR la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos a aportar por el contratista.
- Condiciones de ocupación del solar e inicio de las obras.
- Determinación de los gastos de enganches y consumos.
- Responsabilidades y obligaciones del contratista: Legislación laboral.
- Responsabilidades y obligaciones del promotor.
- Presupuesto del contratista.
- Revisión de precios (en su caso).
- Forma de pago: Certificaciones.
- Retenciones en concepto de garantía (nunca menos del 5%).
- Plazos de ejecución: Planning.
- Retraso de la obra: Penalizaciones.
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva.
- Litigio entre las partes.

Dado que este Pliego de Condiciones Económicas es complemento del contrato de obra, en caso de que no exista contrato de obra alguno entre las partes se le comunicará a la Dirección Facultativa, que pondrá a disposición de las partes el presente Pliego de Condiciones

Económicas que podrá ser usado como base para la redacción del correspondiente contrato de obra.

### **3.4.3 CRITERIO GENERAL**

Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la "Ley 38/1999. Ley de Ordenación de la Edificación", tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

### **3.4.4 FIANZAS**

El contratista presentará una fianza con arreglo al procedimiento que se estipule en el contrato de obra:

- **Ejecución de trabajos con cargo a la fianza**

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el director de obra, en nombre y representación del promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

- **Devolución de las fianzas**

La fianza recibida será devuelta al contratista en un plazo establecido en el contrato de obra, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El promotor podrá exigir que el contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros y subcontratos.

- **Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales**

Si el promotor, con la conformidad del director de obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

### **3.4.5 DE LOS PRECIOS**

El objetivo principal de la elaboración del presupuesto es anticipar el coste del proceso de construir la obra. Descompondremos el presupuesto en unidades de obra, componente menor que se contrata y certifica por separado, y basándonos en esos precios, calcularemos el presupuesto.

- **Precio básico**

Es el precio por unidad (ud, m, kg, etc.) de un material dispuesto a pie de obra.  
Precio unitario

Es el precio de una unidad de obra que obtendremos como suma de los costes directos e indirectos.

- **Presupuesto de Ejecución Material (PEM)**

Se denomina Presupuesto de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los productos del número de cada unidad de obra por su precio unitario y de las partidas alzadas. Es

decir, el coste de la obra sin incluir los gastos generales, el beneficio industrial y el impuesto sobre el valor añadido.

- **Precios contradictorios**

Sólo se producirán precios contradictorios cuando el promotor, por medio del director de obra, decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El contratista siempre estará obligado a efectuar los cambios indicados.

- **De la revisión de los precios contratados**

El presupuesto presentado por el contratista se entiende que es cerrado, por lo que no se aplicará revisión de precios.

Sólo se procederá a efectuar revisión de precios cuando haya quedado explícitamente determinado en el contrato de obra entre el promotor y el contratista.

- **Acopio de materiales**

El contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que el promotor ordene por escrito.

Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario, son de la exclusiva propiedad de éste, siendo el contratista responsable de su guarda y conservación.

### **3.4.6 VALORACIÓN Y ABONO DE LOS TRABAJOS**

- **Forma y plazos de abono de las obras**

Se realizará por certificaciones de obra y se recogerán las condiciones en el contrato de obra establecido entre las partes que intervienen (promotor y contratista) que, en definitiva, es el que tiene validez.

Los pagos se efectuarán por el promotor en los plazos previamente establecidos en el contrato de obra, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de la obra conformadas por el director de ejecución de la obra, en virtud de las cuáles se verifican aquéllos.

- **Relaciones valoradas y certificaciones**

En los plazos fijados en el contrato de obra entre el promotor y el contratista, éste último formulará una relación valorada de las obras ejecutadas durante las fechas previstas, según la medición practicada por el Director de Ejecución de la Obra.

Las certificaciones de obra serán el resultado de aplicar, a la cantidad de obra realmente ejecutada, los precios contratados de las unidades de obra. Sin embargo, los excesos de obra realizada en unidades, tales como excavaciones y hormigones, que sean imputables al contratista, no serán objeto de certificación alguna.

Los pagos se efectuarán por el promotor en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá al de las certificaciones de obra, conformadas por la Dirección Facultativa. Tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la Liquidación Final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones parciales la aceptación, la aprobación, ni la recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. Si la Dirección Facultativa lo exigiera, las certificaciones se extenderán a origen.

- **Mejora de obras libremente ejecutadas**

Cuando el contratista, incluso con la autorización del director de obra, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el proyecto o sustituyese una clase de fábrica por otra que tuviese asignado mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquier parte de la obra, o, en general, introdujese en ésta y sin solicitársela, cualquier otra modificación que sea beneficiosa a juicio de la Dirección Facultativa, no tendrá derecho más que al abono de lo que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

- **Abono de trabajos presupuestados con partidaalzada**

El abono de los trabajos presupuestados en partidaalzada se efectuará previa justificación por parte del contratista. Para ello, el director de obra indicará al contratista, con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que ha de seguirse para llevar dicha cuenta.

- **Abono de trabajos especiales no contratados**

Cuando fuese preciso efectuar cualquier tipo de trabajo de índole especial u ordinaria que, por no estar contratado, no sea de cuenta del contratista, y si no se contratasen con tercera persona, tendrá el contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales le serán abonados por el promotor por separado y en las condiciones que se estipulen en el contrato de obra.

- **Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía**

Efectuada la recepción provisional, y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

- Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el contratista a su debido tiempo, y el director de obra exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el Presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en el presente Pliego de Condiciones, sin estar sujetos a revisión de precios.
- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el promotor, se valorarán y abonarán a los precios del día, previamente acordados.
- Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al contratista.

- 

### 3.4.7 INDEMNIZACIONES MUTUAS

- **Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras**

Si, por causas imputables al contratista, las obras sufrieran un retraso en su finalización con relación al plazo de ejecución previsto, el promotor podrá imponer al contratista, con cargo a la última certificación, las penalizaciones establecidas en el contrato, que nunca serán inferiores al perjuicio que pudiera causar el retraso de la obra.

- **Demora de los pagos por parte del promotor**

Se regulará en el contrato de obra las condiciones a cumplir por parte de ambos.

### 3.4.8 VARIOS

- **Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra**

Sólo se admitirán mejoras de obra, en el caso que el director de obra haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como de los materiales y maquinaria previstos en el contrato.

Sólo se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, en el caso que el director de obra haya ordenado por escrito la ampliación de las contratadas como consecuencia de observar errores en las mediciones de proyecto.

En ambos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o maquinaria ordenados emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirán el mismo criterio y procedimiento, cuando el director de obra introduzca innovaciones que supongan una reducción en los importes de las unidades de obra contratadas.

- **Unidades de obra defectuosas**

Las obras defectuosas no se valorarán.

- **Seguro de las obras**

El contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

- **Conservación de la obra**

El contratista está obligado a conservar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

### 3.4.9 Retenciones en concepto de garantía

Del importe total de las certificaciones se descontará un porcentaje, que se retendrá en concepto de garantía. Este valor no deberá ser nunca menor del cinco por cien (5%) y responderá de los trabajos mal ejecutados y de los perjuicios que puedan ocasionarle al Promotor.

Esta retención en concepto de garantía quedará en poder del Promotor durante el tiempo designado como PERIODO DE GARANTÍA. La fianza retenida en concepto de garantía será devuelta al Contratista en el plazo estipulado en el contrato, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra.

### 3.4.10 LIQUIDACIÓN ECONÓMICA DE LAS OBRAS

Simultáneamente al libramiento de la última certificación, se procederá al otorgamiento del Acta de Liquidación Económica de las obras, que deberán firmar el promotor y el contratista. En este acto se dará por terminada la obra y se entregarán, en su caso, las llaves, los correspondientes boletines debidamente cumplimentados de acuerdo a la Normativa Vigente, así como los proyectos Técnicos y permisos de las instalaciones contratadas.

Dicha Acta de Liquidación Económica servirá de Acta de Recepción Provisional de las obras, para lo cual será conformada por el promotor, el contratista, el director de obra y el director de ejecución de la obra, quedando desde dicho momento la conservación y custodia de las mismas a cargo del promotor.

### **3.4.11 LIQUIDACIÓN FINAL DE LA OBRA**

Entre el promotor y contratista, la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra.

## **3.5 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES**

### **3.5.1 PRESCRIPCIONES SOBRE LOS MATERIALES**

Para facilitar la labor a realizar, por parte del director de la ejecución de la obra, para el control de recepción en obra de los productos, equipos y sistemas que se suministren a la obra de acuerdo con lo especificado en el "Real Decreto 314/2006. Código Técnico de la Edificación (CTE)", en el presente proyecto se especifican las características técnicas que deberán cumplir los productos, equipos y sistemas suministrados.

Los productos, equipos y sistemas suministrados deberán cumplir las condiciones que sobre ellos se especifican en los distintos documentos que componen el Proyecto. Asimismo, sus calidades serán acordes con las distintas normas que sobre ellos estén publicadas y que tendrán un carácter de complementariedad a este apartado del Pliego. Tendrán preferencia en cuanto a su aceptabilidad aquellos materiales que estén en posesión de Documento de Idoneidad Técnica que avale sus cualidades, emitido por Organismos Técnicos reconocidos.

Este control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas comprenderá:

- El control de la documentación de los suministros.
- El control mediante distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad.
- El control mediante ensayos.

Por parte del constructor o contratista debe existir obligación de comunicar a los suministradores de productos las cualidades que se exigen para los distintos materiales, aconsejándose que previamente al empleo de los mismos se solicite la aprobación del director de ejecución de la obra y de las entidades y laboratorios encargados del control de calidad de la obra.

El contratista será responsable de que los materiales empleados cumplan con las condiciones exigidas, independientemente del nivel de control de calidad que se establezca para la aceptación de los mismos.

El contratista notificará al director de ejecución de la obra, con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se proponga utilizar, aportando, cuando así lo solicite el director de ejecución de la obra, las muestras y datos necesarios para decidir acerca de su aceptación.

Estos materiales serán reconocidos por el director de ejecución de la obra antes de su empleo en obra, sin cuya aprobación no podrán ser copiados en obra ni se podrá proceder a su colocación. Así mismo, aún después de colocados en obra, aquellos materiales que presenten defectos no percibidos en el primer reconocimiento, siempre que vaya en perjuicio del buen acabado de la obra, serán retirados de la obra. Todos los gastos que ello ocasionase serán a cargo del contratista.

### **3.5.2 Garantías de calidad (Marcado CE)**

El término producto de construcción queda definido como cualquier producto fabricado para su incorporación, con carácter permanente, a las obras de edificación e ingeniería civil que tengan incidencia sobre los siguientes requisitos esenciales:

- Resistencia mecánica y estabilidad.
- Seguridad en caso de incendio.
- Higiene, salud y medio ambiente.

- Seguridad de utilización.
- Protección contra el ruido.
- Ahorro de energía y aislamiento térmico.

El marcado CE de un producto de construcción indica:

- Que éste cumple con unas determinadas especificaciones técnicas relacionadas con los requisitos esenciales contenidos en las Normas Armonizadas (EN) y en las Guías DITE (Guías para el Documento de Idoneidad Técnica Europeo).
- Que se ha cumplido el sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones indicadas en los mandatos relativos a las normas armonizadas y en las especificaciones técnicas armonizadas.

Siendo el fabricante el responsable de su fijación y la Administración competente en materia de industria la que vele por la correcta utilización del marcado CE.

## **4.MEDICIONES Y PRESUPUESTO**

Tarea	Descripción	Uds.	Materiales	Maquinaria	Mano de obra	Otros	Total tarea
ADL005	m <sup>2</sup> Desbroce y limpieza del terreno, hasta una profundidad mínima de 25 cm, con medios mecánicos, retirada de los materiales excavados y carga a camión, sin incluir transporte a vertedero autorizado.	1.100,000		704,00	110,00	33,00	847,00
ANS010	m <sup>2</sup> Solera de hormigón en masa de 20 cm de espesor, realizada con hormigón HM-25/B/20/I fabricado en central y vertido desde camión, extendido y vibrado manual, con juntas de retracción.	680,000	10.757,60	958,80	4.760,00	829,60	17.306,00
	<b>Total</b>		<b>10.757,60</b>	<b>1.662,80</b>	<b>4.870,00</b>	<b>862,60</b>	<b>18.153,00</b>
CSZ010	m <sup>3</sup> Zapata de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 50 kg/m <sup>3</sup> , sin incluir encofrado.	205,527	25.964,23		2.063,49	1.418,13	29.445,85
CAV010	m <sup>3</sup> Viga de atado de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 60 kg/m <sup>3</sup> , sin incluir encofrado.	20,000	2.623,00		269,60	146,40	3.039,00
CHH005	m <sup>3</sup> 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.	14,449	1.001,32		59,53	53,75	1.114,60
	<b>Total</b>		<b>29.588,55</b>		<b>2.392,62</b>	<b>1.618,28</b>	<b>33.599,45</b>

EAS005	Ud	Placa de anclaje de acero S275JR en perfil plano, con rigidizadores, de 750x450 mm y espesor 25 mm, con 6 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 25 mm de diámetro y 60 cm de longitud total.	20,000	2.401,60	1,40	1.438,00	194,40	4.035,40
EAS010	kg	Acero S275JR en pilares, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM con uniones soldadas.	58.773,000	75.229,44	2.938,65	43.492,02	5.877,30	127.537,41
EAT030b	kg	Acero S235JRC en correas metálicas, con piezas simples de perfiles conformados en frío de las series C o Z, galvanizado y colocado en obra con tornillos.	6.962,300	9.956,09		7.797,77	905,10	18.658,96
EAV010	kg	Acero S275JR en vigas, con piezas simples de perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM con uniones soldadas.	11.627,000	14.882,56	581,35	8.603,98	1.162,70	25.230,59
EPM010	m <sup>2</sup>	Muro de doble cara, prefabricado, de hormigón, de 20 cm de espesor, con caras vistas de color gris, con textura lisa, hormigonado de su núcleo central con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con cubilote.	960,000	55.516,80	20.006,40	27.148,80	5.193,60	107.865,60
<b>Total</b>				<b>157.986,49</b>	<b>23.527,80</b>	<b>88.480,57</b>	<b>13.333,10</b>	<b>283.327,96</b>
LGA030	Ud	Puerta basculante para garaje, pre-leva de compensación por contrapesos, formada por chapa plegada de acero galvanizado, de textura acanalada, 350x230 cm, apertura manual.	2,000	4.228,00		167,66	222,42	4.618,08
<b>Total capítulo L</b>				<b>4.228,00</b>		<b>167,66</b>	<b>222,42</b>	<b>4.618,08</b>

QTM010	m <sup>2</sup> Cubierta inclinada de paneles sándwich aislantes de acero, de 80 mm de espesor y 1150 mm de ancho, alma aislante de lana de roca, con una pendiente mayor del 10%.	1.344,000	67.025,28	3.830,40	3.575,04	74.430,72
<b>Total Cubierta</b>			<b>67.025,28</b>	<b>3.830,40</b>	<b>3.575,04</b>	<b>74.430,72</b>
<b>Total obra</b>			<b>269.585,92</b>	<b>25.190,60</b>	<b>99.741,25</b>	<b>19.611,44</b>
						<b>414.129,21</b>

Tabla 19. Resumen presupuesto

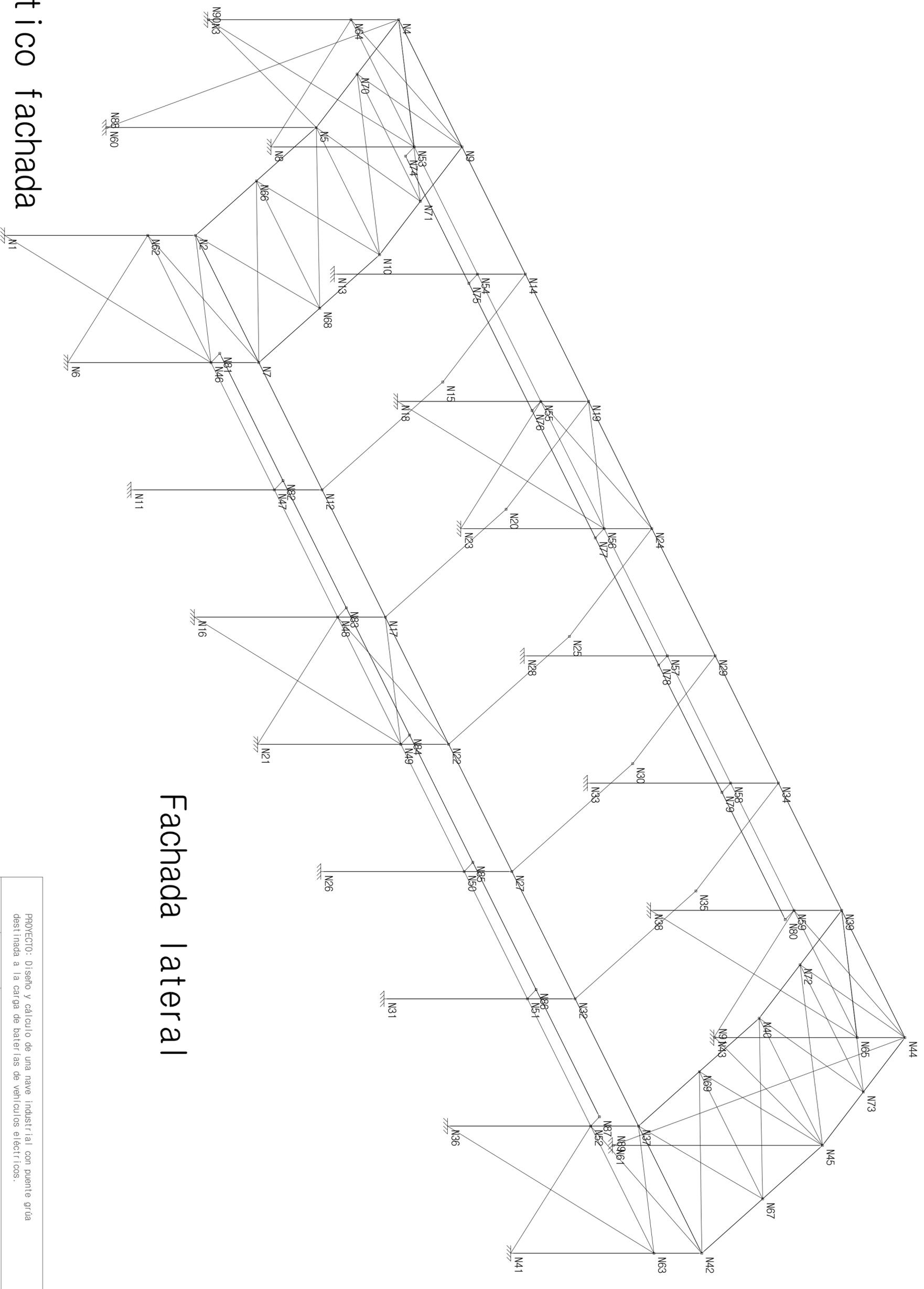
<b>Acondicionamiento del terreno</b>	18153.00 €
<b>Estructura metálica</b>	362376.76
<b>Puente Grúa</b>	40000.00 €
<b>Cimentación</b>	33599.45 €
<b>TOTAL</b>	<b>454129.21 €</b>

Tras la realización del estudio económico completo, se obtiene un coste total de 454129.21 €.

**CUATROCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO MIL CIENTO VEINTINUEVE EUROS  
CON VEINTIÚN CÉNTIMOS**

## **5.PLANOS**

# Pórtico fachada



# Fachada lateral

PROYECTO: Diseño y cálculo de una nave industrial con puente grúa destinada a la carga de baterías de vehículos eléctricos.

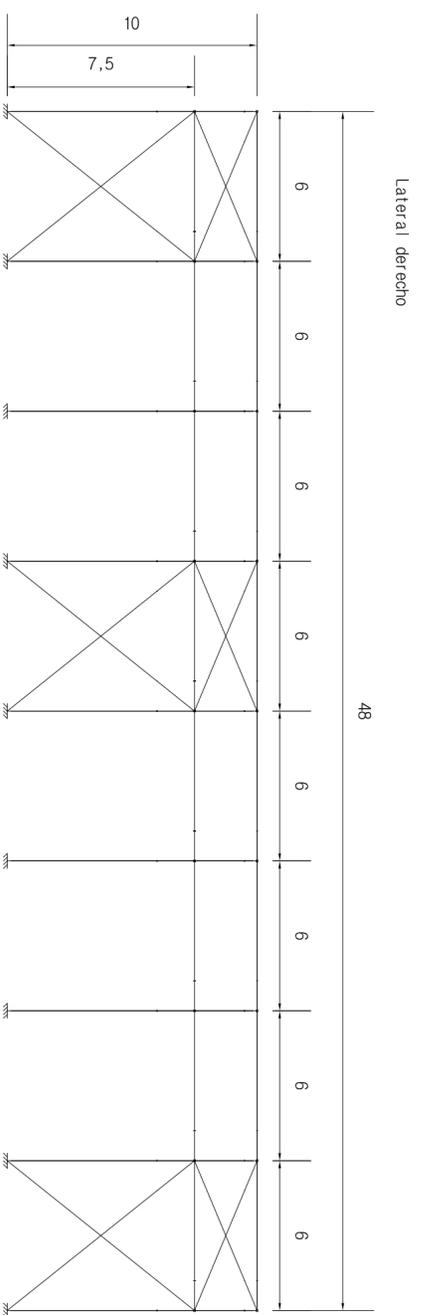
Plano n.º: 1  
mm.

Estructura 3D



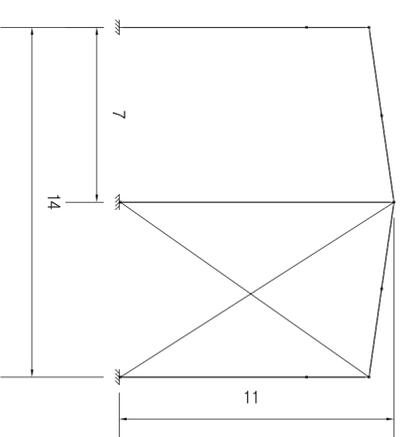
Jose Guillén Dos

10/07/2017

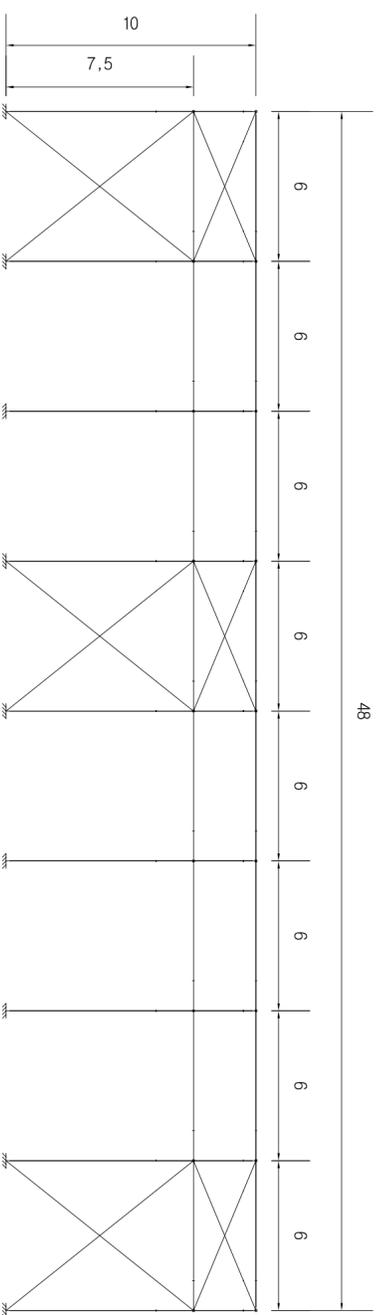


Lateral derecho

48

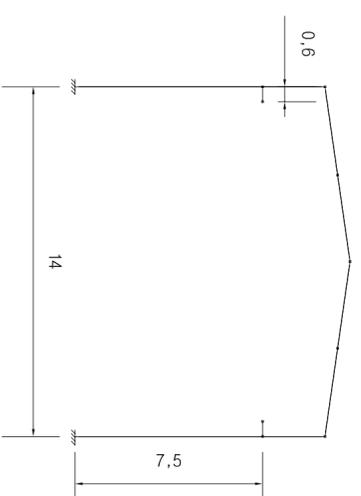


Portico de fachada



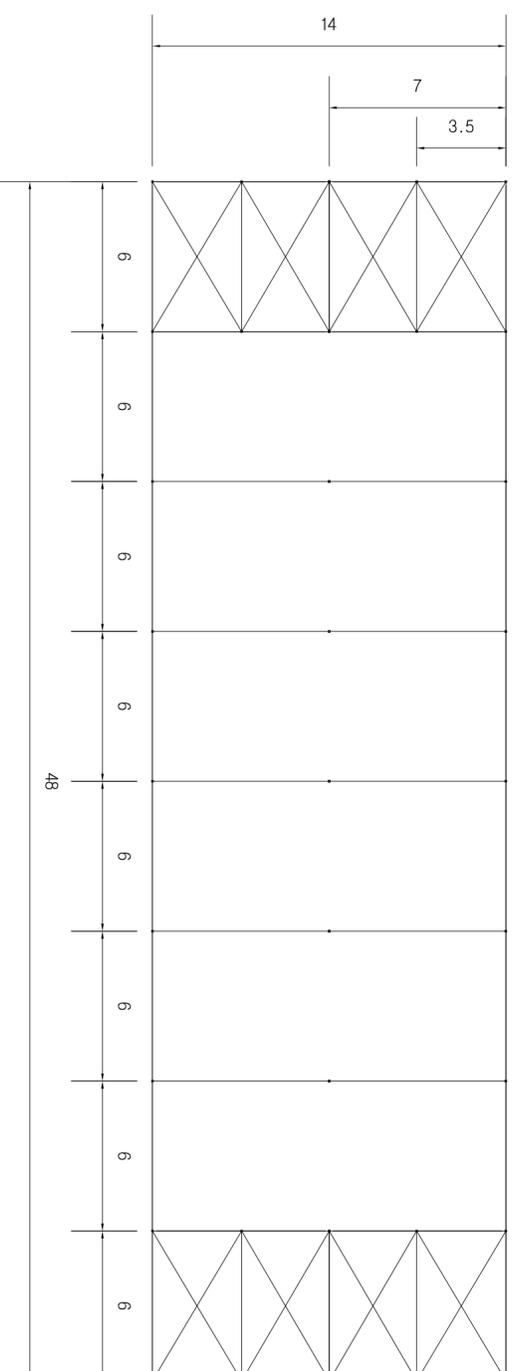
Lateral izquierdo

48



Portico interior

Cubierta



PROYECTO: Diseño y cálculo de una nave industrial con puente grúa destinada a la carga de baterías de vehículos eléctricos.

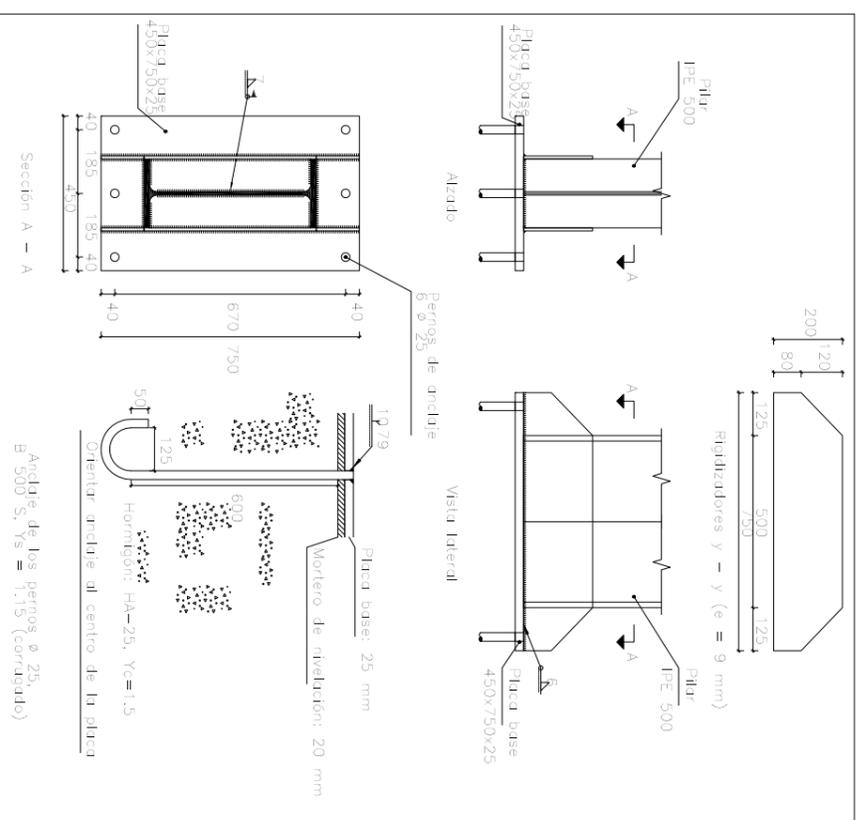
Plano n.º: E: 1/200  
2 m. Portico de fachada, portico interior, fachadas laterales y cubierta



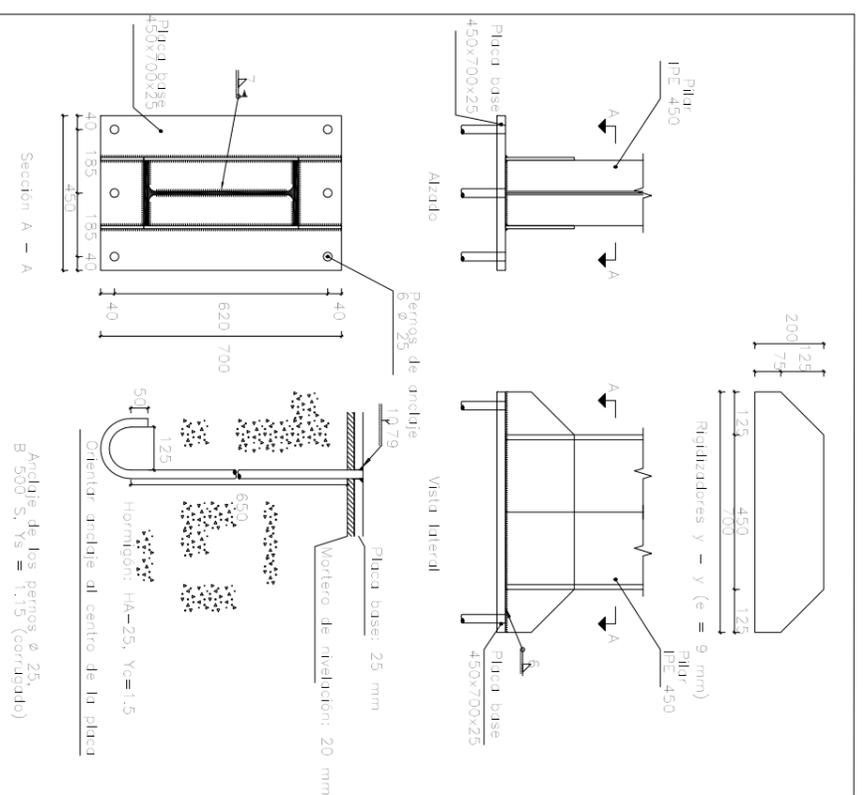
Jose Guillén Dos

10/07/2017

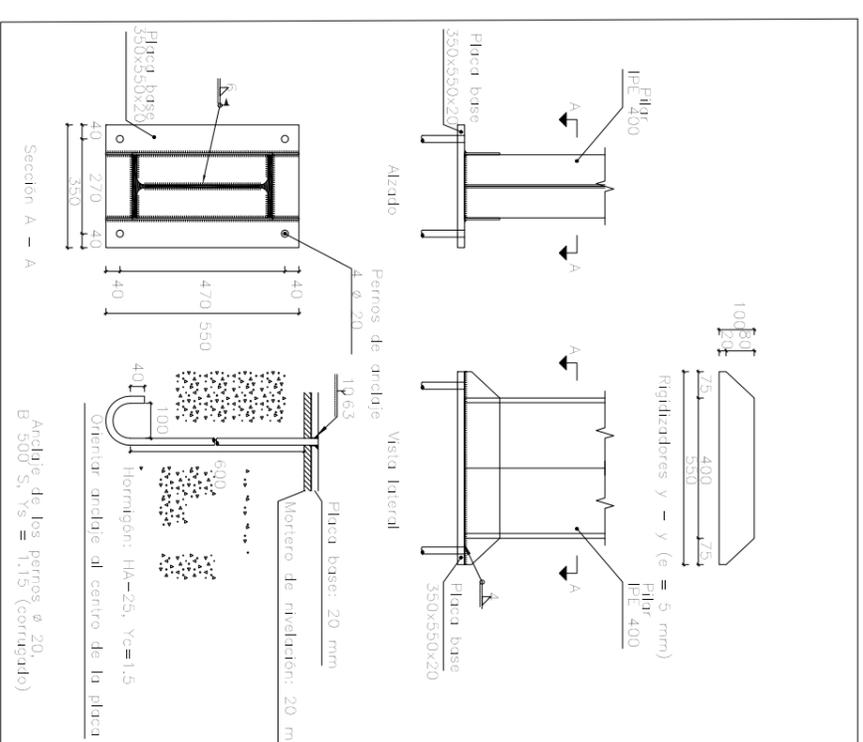
Tipo 1



Tipo 2



Tipo 3

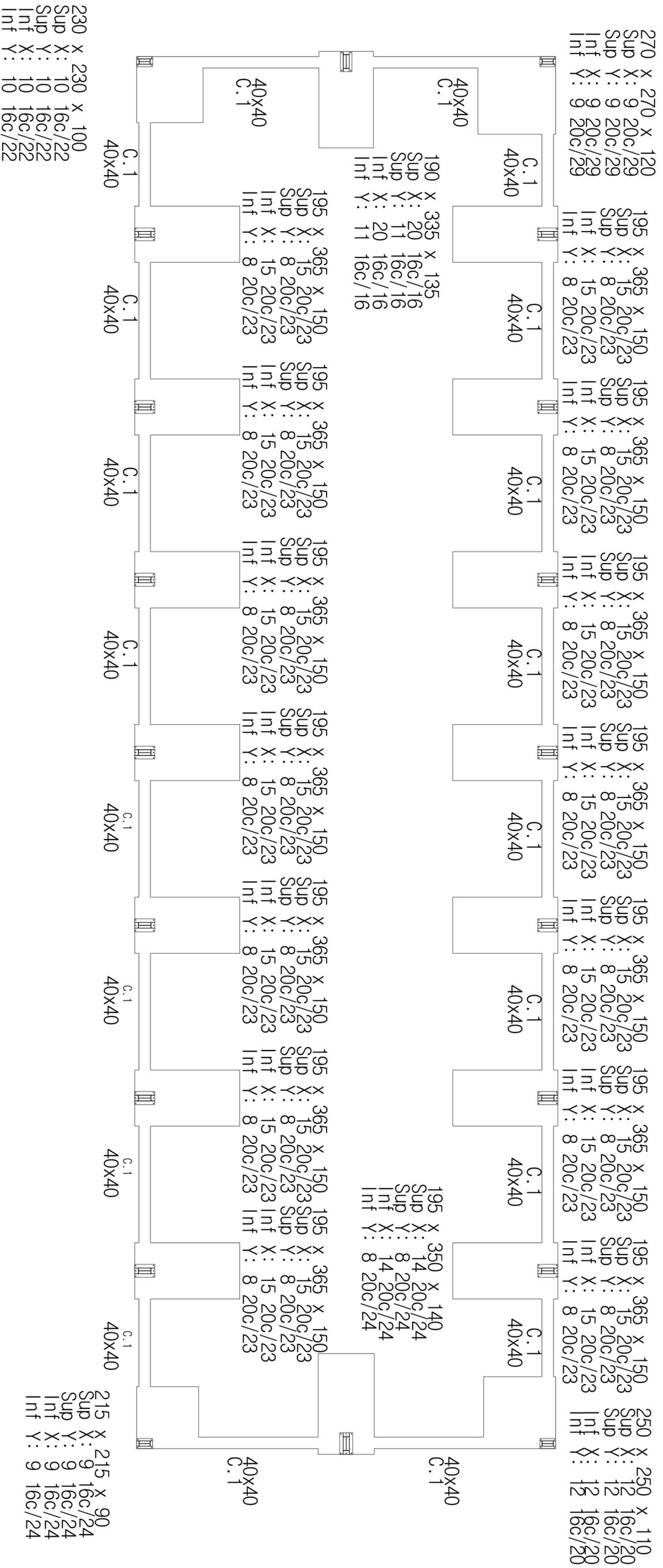


PROYECTO: Diseño y cálculo de una nave industrial con puente grúa destinada a la carga de baterías de vehículos eléctricos.

Plano n°: E: 1/20  
3 mm.

Jose Guillén Dos

10/07/2017



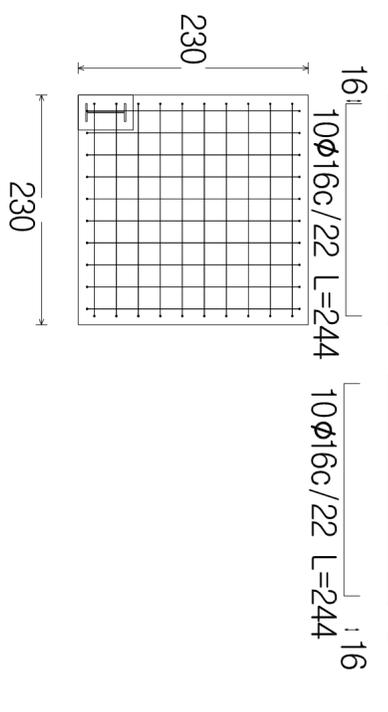
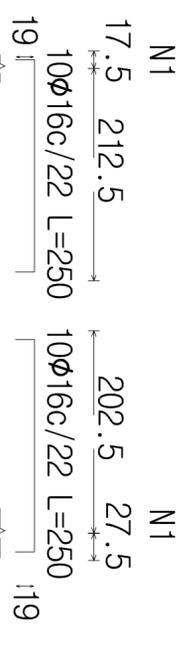
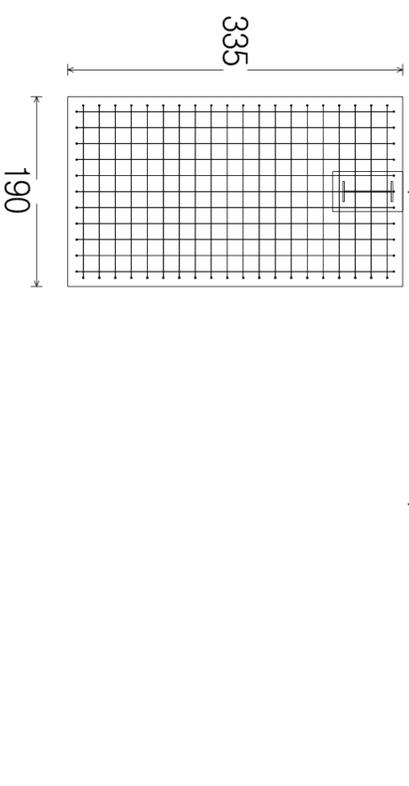
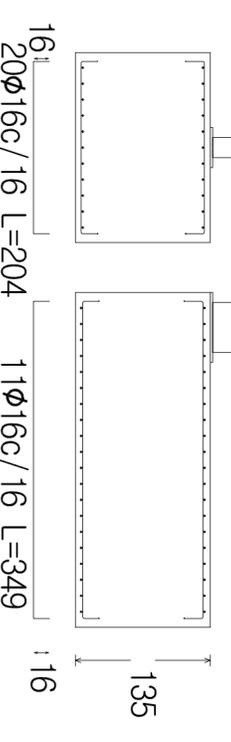
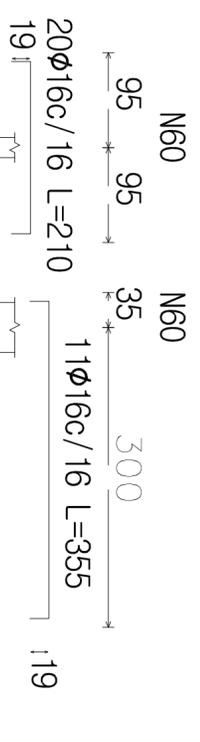
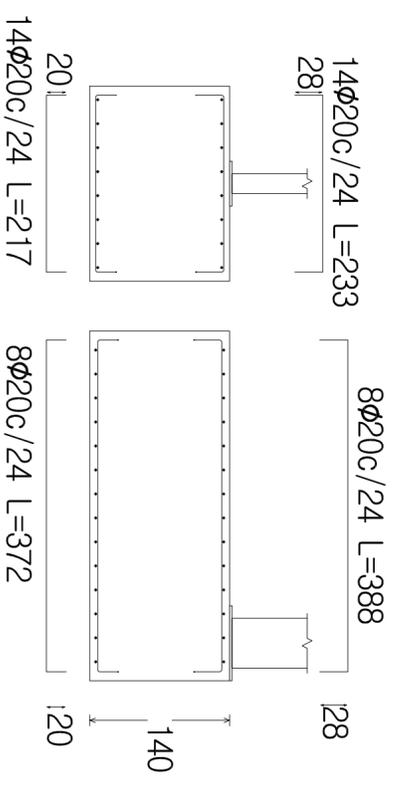
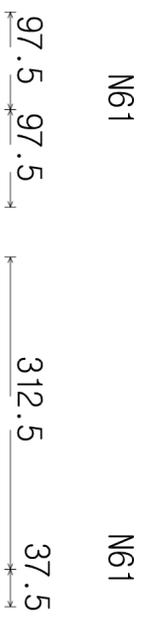
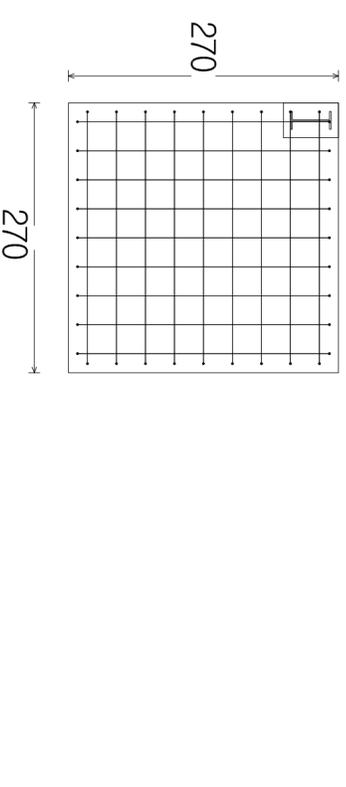
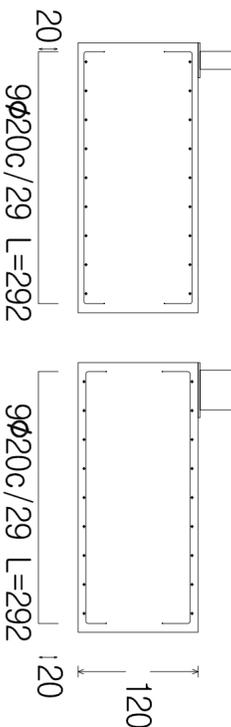
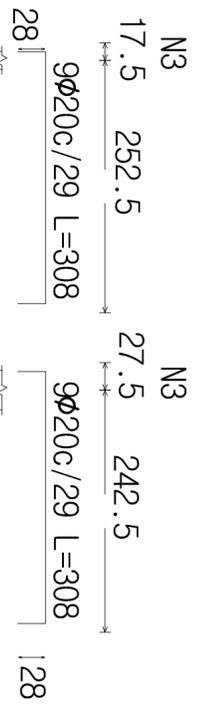
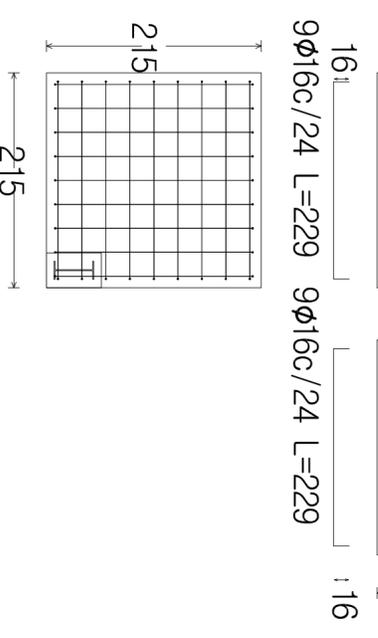
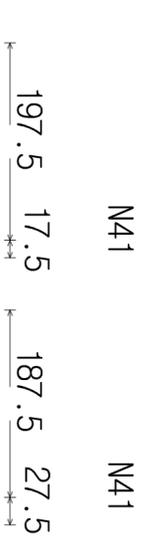
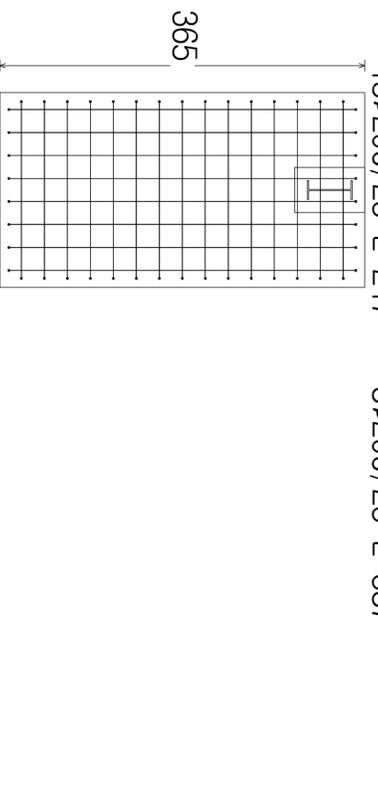
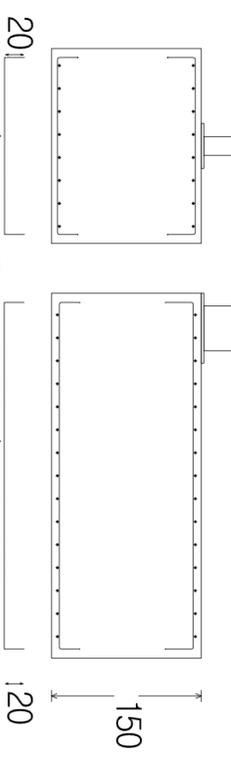
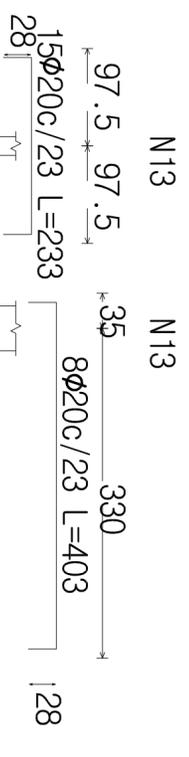
PROYECTO: Diseño y cálculo de una nave industrial con puente grúa destinada a la carga de baterías de vehículos eléctricos.

E: 1/100  
 mm.  
 Cimentación



Jose Guillén Dos

10/07/2017



PROYECTO: Diseño y cálculo de una nave industrial con puente grúa destinada a la carga de baterías de vehículos eléctricos.

Plano n.º: 5

E: 1/50 mm.

Zapatas

Jose Guillén Dos

10/07/2017

