

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***NAVE PARA TALLER DE MECANIZADO Y
ELECTROEROSIÓN***

DOCUMENTO 3- ANEXOS

Alumno: Villamayor Ortega, Alberto

Director: Marcos Rodríguez, Ignacio

Curso: 2020-2021

Fecha: 15-06-2021

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DATOS DE PARTIDA	2
3. ACCIONES	3
4. CUBIERTA	4
4.1. ELECCIÓN DE LA CUBIERTA.....	4
4.2. CÁLCULOS DE LA CUBIERTA.....	5
4.2.1. Peso propio.....	6
4.2.2. Sobrecarga de uso.....	6
4.2.3. Sobrecarga de nieve	7
4.2.4. Sobrecarga de viento	9
4.2.5. Resumen de cargas	18
4.3. COMBINACIONES DE CARGAS.....	19
5. CERRAMIENTO LATERAL	23
5.1. ELECCIÓN DEL CERRAMIENTO DE FACHADA	23
5.2. CÁLCULOS DE LA FACHADA	24
5.2.1. Peso propio.....	24
5.2.2. Sobrecarga de viento	24
5.2.3. Resumen de cargas	33
5.3. COMBINACIONES DE CARGAS.....	34
6. GRÚA PUENTE	38
6.1. DATOS DE PARTIDA DE LA GRÚA PUENTE	38
6.2. CLASIFICACIÓN DEL POLIPASTO.....	38
6.2.1 Clasificación según las condiciones de servicio	38
6.2.2 Determinación del grupo de trabajo.....	39
6.2.3 Elección del polipasto	40
6.3. ELECCIÓN DE LOS TESTEROS	40
6.4. ELECCIÓN DE LA GRÚA PUENTE	42
6.5. CÁLCULO DE LA VIGA CARRIL.....	43
6.5.1. Clasificación de los puentes grúa.....	43
6.5.2. Acciones verticales de las ruedas de la grúa puente.....	46

6.5.3 Acciones horizontales longitudinales.....	48
6.5.4 Acciones horizontales transversales sobre los carriles de traslación del puente	51
6.5.5. Situaciones posibles debidas al puente grúa	53
6.5.6. Cálculo de la viga carril	55
6.5.7. Informe de resultados	71
7. DIMENSIONAMIENTO MEDIANTE EL PROGRAMA DE CÁLCULO.....	72
7.1. ELEMENTOS DE LA NAVE	86
7.1.1 Pórticos.....	86
7.1.2 Pilarillos hastiales.....	107
7.1.3 Vigas de arriostramiento y marcos de las cruces de San Andrés	116
7.1.4 Elementos de arriostramiento (Cruces de San Andrés).....	125
7.1.5 Dinteles de las puertas de entrada y salida de material de la nave.....	128
7.1.6 Ménsulas de la viga carril.....	137
7.2. UNIONES	147
7.2.1 Especificaciones	147
7.2.2 Referencias y simbología	149
7.2.3 Comprobaciones en placas de anclaje	152
7.2.4 Memoria de cálculo.....	153
7.3. PLACAS DE ANCLAJE	239
7.4. CIMENTACIÓN	247
7.4.1. Elementos de cimentación aislados.....	247
7.4.2. Vigas de atado	256
7.4.3. Solera.....	257
8. RED DE SANEAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES	257

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se justificarán todas las soluciones tomadas para el desarrollo del proyecto. En él daremos cuenta de las hipótesis de partida, de los procedimientos seguidos para el cálculo de la estructura, de los resultados finales de los elementos y de las comprobaciones pertinentes de éstos.

Primeramente expondremos los datos de partida y las acciones a la que estará expuesta la estructura. Teniendo en cuenta estos datos dimensionaremos la cubierta y los cerramientos laterales del edificio. Posteriormente, mediante el programa informático de cálculo Nuevo Metal 3D de Cype Ingenieros dimensionaremos la nave. De esta manera agilizamos el proceso de cálculo a la vez que evitamos la tarea de realizar comprobaciones manuales. También elegiremos el polipasto del puente grúa según nuestras necesidades y dimensionaremos la viga carril y las ménsulas correspondientes que sustentarán a nuestra grúa puente.

Los resultados de los cálculos que se muestran a continuación corresponden a la estructura completa, cimentación y saneamiento.

2. DATOS DE PARTIDA

La nave industrial de estructura metálica y cubierta a dos aguas albergará en su interior una grúa puente con una capacidad de carga de 12,5 Toneladas.

Los datos de partida que utilizaremos a la hora de dimensionar nuestra nave serán los siguientes:

- Longitud: 50 metros
- Luz: 22 metros
- Altura útil: 10 metros
- Altura total: 11,1 metros
- Inclinação de la cubierta: $5,71^\circ$
- Número de pórticos: 11
- Distancia entre pórticos: 5 metros

3. ACCIONES

Ahora que ya tenemos definidos los parámetros más generales de nuestra nave pasamos a hacer los cálculos de cada elemento.

Para realizar los cálculos definiremos primero las distintas combinaciones de cargas que se pueden dar en nuestra nave. Los parámetros que tomaremos en consideración serán:

- Peso propio de la estructura (CP)
- Sobrecarga de uso (SU)
- Sobrecarga de nieve (SN)
- Sobrecarga de viento (V)
- Lo desdoblaremos en viento 1 (V1) a presión, y viento 2 (V2) a succión.

La disposición de juntas de dilatación puede contribuir a disminuir los efectos de las variaciones de la temperatura. En edificios habituales con elementos estructurales de hormigón o acero, pueden no considerarse las acciones térmicas cuando se dispongan juntas de dilatación de forma que no existan elementos continuos de más de 40 m de longitud. En nuestro caso no consideraremos los efectos de las acciones térmicas como permite la norma, al disponer nuestra nave de junta de dilatación.

Cada una de estas cargas puede actuar por separado o simultáneamente, y la norma establece unas directrices a seguir para combinarlas adecuadamente que explicaremos más adelante en el apartado de combinaciones, una vez que hayamos calculado todas las acciones.

Todas las acciones se calcularán en base al Documento Básico de Seguridad Estructural – Acciones de la Edificación (DB SE-AE).

4. CUBIERTA

4.1. ELECCIÓN DE LA CUBIERTA

Elegiremos para la cubierta un perfil de cubierta de tipo sándwich de 5 greclas de la gama ACH. Este tipo de perfil ofrece una solución de cubierta de alta calidad y durabilidad, garantizando una total estanqueidad, además de superar las mayores exigencias contra el fuego, y ofrecer un elevado nivel de aislamiento térmico. El diseño multigrecado le confiere una gran resistencia mecánica que permite luces mayores a igualdad de carga. El panel de 5 Greclas de Cubierta está especialmente diseñado para aquellas construcciones que requieran un elevado nivel de resistencia al fuego.

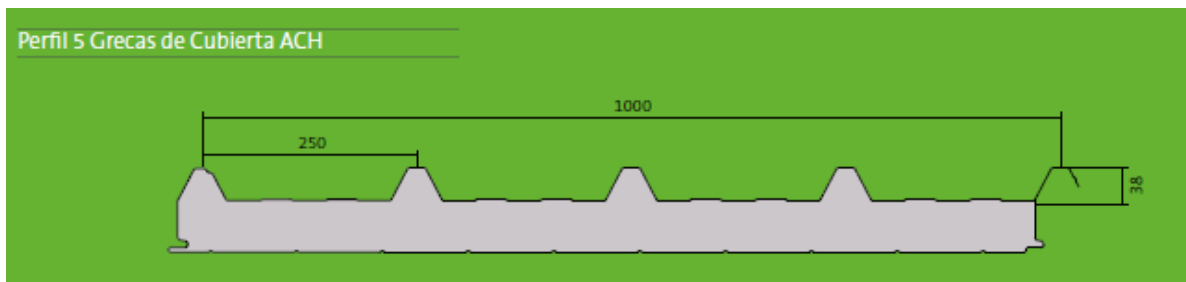


Figura 1. Cerramiento de cubierta

Para nuestro caso elegiremos un panel triapoyado que quedará del lado de la seguridad puesto que es más restrictivo que el panel multiapoyado que utilizaremos para nuestra obra.

El espesor del panel será de 80mm. Y la distancia de correas de 150cm.

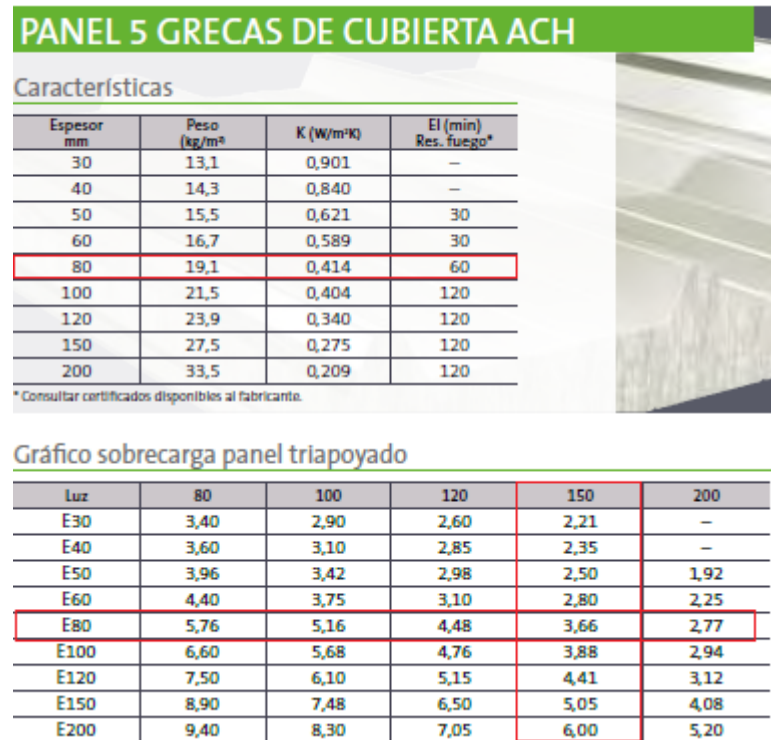


Figura 2. Características del panel de cubierta

De las tablas anteriores obtenemos los siguientes datos:

- Resistencia: $3,66 \text{ kN/m}^2$
- Peso: $19,1 \text{ kg/m}^2 = 187,37 \text{ N/m}^2$
- Distancia entre apoyos: 1,5m
- Espesor: 80 mm

4.2. CÁLCULOS DE LA CUBIERTA

Tras haber realizado la selección de la cubierta, se procede al cálculo de las diferentes acciones que inciden en ella. Agrupamos dichas acciones en dos grupos diferentes:

- Acciones permanentes: el peso propio de la cubierta.
- Acciones variables: la sobrecarga de uso, de nieve y de viento que inciden en ella.

4.2.1. Peso propio

El peso propio es la carga propia del panel:

Peso = 19,1 kg/m²

Se trata de una carga gravitatoria que tiene una dirección vertical, por lo que debemos descomponerla en dos direcciones paralela y perpendicular, ya que la resistencia de la cubierta tiene una dirección perpendicular a ella misma.

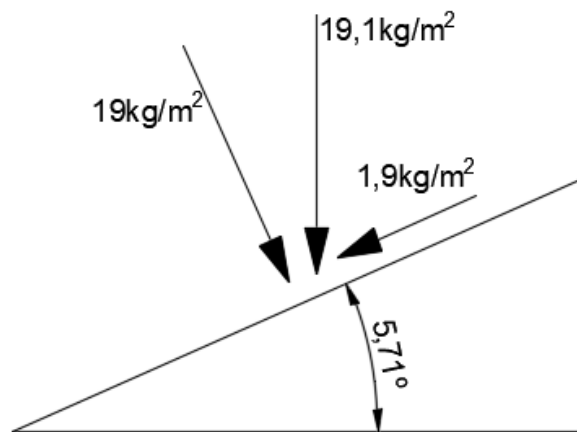


Figura 3. Descomposición del peso propio

Descomponiendo en dirección paralela y perpendicular al faldón resulta:

$$q_{\text{cub}} = 19,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \cos(5,71) = 19,00 \text{ kg/m}^2 \text{ (perpendicular al faldón)}$$

$$q_{\text{cub}} = 19,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sen}(5,71) = 1,90 \text{ kg/m}^2 \text{ (paralela al faldón)}$$

4.2.2. Sobrecarga de uso

La sobrecarga de uso es todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de uso, sus efectos pueden simularse como una carga distribuida uniformemente.

El valor se obtendrá de la tabla 3.1 del documento básico de acciones en la edificación, en ella se diferencian las diferentes categorías de uso. Para este caso, la nave será la G1 (cubiertas ligeras sobre correas) y se obtienen dos valores de carga, una uniforme y otra puntual.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

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

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

- Carga uniforme: 0.4KN/m² (El valor se refiere a la proyección horizontal de la superficie de la cubierta).

El momento máximo se producirá con la carga uniformemente repartida, por lo que nos quedaremos con esta acción ya que es la más desfavorable.

Como el dato es en proyección horizontal lo descomponemos según la inclinación de la cubierta:

$$0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos(5,71) = 0,398 \text{ kN/m}^2$$

Descomponiendo nos quedaría:

$$0,398 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos(5,71) = 0,396 \text{ kN/m}^2 \text{ (perpendicular al faldón)}$$

$$0,398 \text{ kN/m}^2 \cdot \text{sen}(5,71) = 0,039 \text{ kN/m}^2 \text{ (paralela al faldón)}$$

4.2.3. Sobrecarga de nieve

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio dependen del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma de la cubierta y de los intercambios térmicos.

Para determinar la sobrecarga de nieve debemos ir al código técnico, Documento Básico de la Seguridad Estructural de la Edificación (SE-AE) apartado 3.5.1. Determinación de la carga de nieve, en este apartado aparece el valor de la carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal como en el apartado anterior.

En el que:

$$q_N = \mu \cdot S_K$$

Donde:

μ : coeficiente de forma de la cubierta

S_K : valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal

El valor de la sobrecarga de nieve sobre un terreno horizontal, s_k , en las capitales de provincia y ciudades autónomas se puede tomar de la siguiente tabla:

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

Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²	Capital	Altitud m	s_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas- tián/Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,7
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	10	0,2
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	1.090	0,9
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	0	0,4
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,2
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	950	0,9
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	550	0,5
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	0	0,2
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia/València	690	0,4
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,5	Valladolid	520	0,7
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	650	0,4
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,2	Zamora	210	0,5
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	0	0,2
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla		

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

En nuestro caso la nave estará situada en Bilbao, que tiene una altitud de 0m por lo que su valor $S_K = 0,3$ kN/m².

En un faldón limitado inferiormente por cornisas o limatesas, y en el que no hay impedimento al deslizamiento de la nieve, el coeficiente de forma tiene el valor de 1 para cubiertas con inclinación menor o igual que 30° y 0 para cubiertas con inclinación de mayor o igual que 60° (para valores intermedios se interpolará

linealmente). Si hay impedimento, se tomará $\mu = 1$ sea cual sea la inclinación.

Por lo que $\mu = 1$ para cubiertas con inclinación menor o igual que 30° .

$$q_N = \mu \cdot S_K \cdot \cos(5,71) = 0,298 \text{ kN/m}^2$$

Descomponiendo en dirección paralela y perpendicular al faldón resulta:

$$q_{SU} = 0,298 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos(5,71) = 0,296 \text{ kN/m}^2 \text{ (perpendicular al faldón)}$$

$$q_{SU} = 0,298 \text{ kN/m}^2 \cdot \sin(5,71) = 0,030 \text{ kN/m}^2 \text{ (paralela al faldón)}$$

4.2.4. Sobrecarga de viento

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

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

De la cual, sus valores se definen como:

- q_b : la presión dinámica del viento. Se obtienen los valores del CTE DB SE-AE.
- c_e : el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción.
- c_p : el coeficiente de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento.

Presión dinámica

Se conoce como la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse $0,5 \text{ kN/m}^2$. Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo D, en función del emplazamiento geográfico de la obra.

El valor básico de la presión dinámica del viento puede obtenerse con la expresión:

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

siendo δ la densidad del aire y v_b el valor básico de la velocidad del viento.

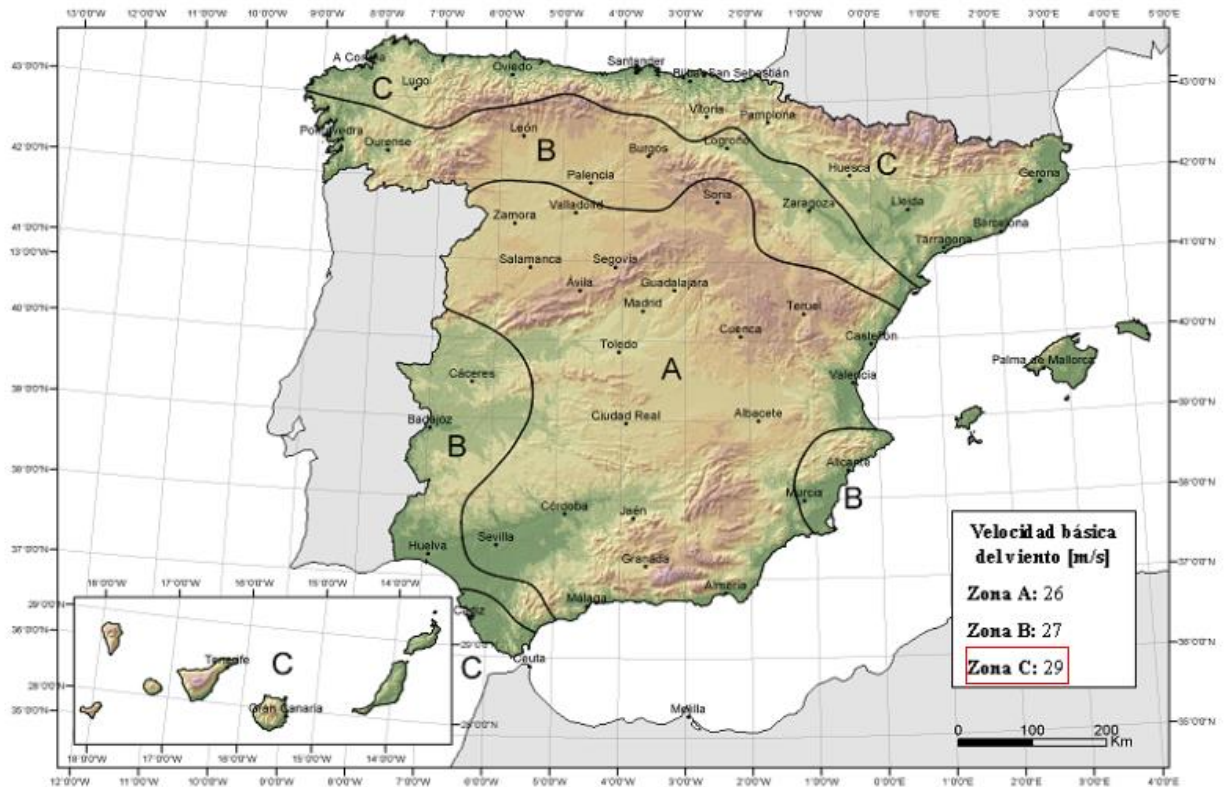


Figura 6. Valor básico de la velocidad del viento.

El valor básico de la velocidad del viento en cada localidad puede obtenerse del mapa de la figura D.1. El de la presión dinámica es, respectivamente de $0,42 \text{ kN/m}^2$, $0,45 \text{ kN/m}^2$ y $0,52 \text{ kN/m}^2$ para las zonas A, B y C de dicho mapa.

Luego en nuestro caso:

$$q_b = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

Coeficiente de exposición

El coeficiente de exposición tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Su valor se puede tomar de la tabla 3.4, siendo la altura del punto considerado la medida respecto a la rasante media de la fachada a barlovento.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

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

Figura 7. Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición, c_e .

Interpolando:

$$c_e = 1,9$$

Coeficiente de presión

Los coeficientes de presión exterior o eólico, c_p , dependen de la dirección relativa del viento, de la forma del edificio, de la posición de elemento considerado y de su área de influencia.

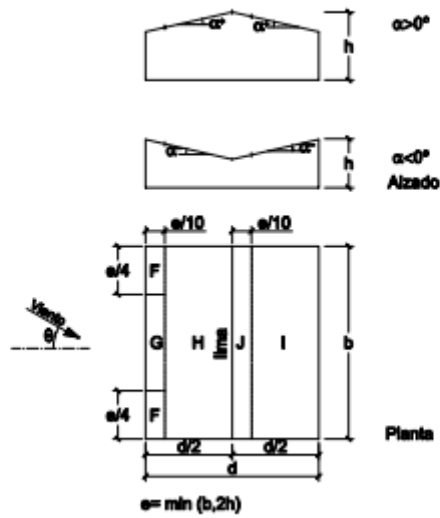
En las tablas D.3 a D.13 se dan valores de coeficientes de presión para diversas formas simples de construcciones, obtenidos como el pésimo de entre los del abanico de direcciones de viento definidas en cada caso. El signo “ $-$ ” indica que el valor es idéntico al de la casilla superior. Cuando se aportan dos valores de distinto signo separados, significa que la acción de viento en la zona considerada puede variar de presión a succión, y que deben considerarse las dos posibilidades. En todas las tablas puede interpolarse linealmente para valores intermedios de las variables. Los valores nulos se ofrecen para poder interpolar.

Para comprobaciones locales de elementos de fachada o cubierta, el área de influencia será la del propio elemento.

Para los coeficientes de presión exterior, tendremos diferentes tablas según la dirección del viento (izquierda-derecha, frente).

1. Comenzamos con el viento en dirección izquierda-derecha.

Tabla D.6 Cubiertas a dos aguas
a) Dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$



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

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

Nuestra cubierta tiene $5,71^\circ$ de inclinación. Nos ayudamos de la figura anterior para obtener el valor de los coeficientes para las diferentes zonas.

Para nuestro caso estudiando la influencia del viento en las distintas zonas de la cubierta:

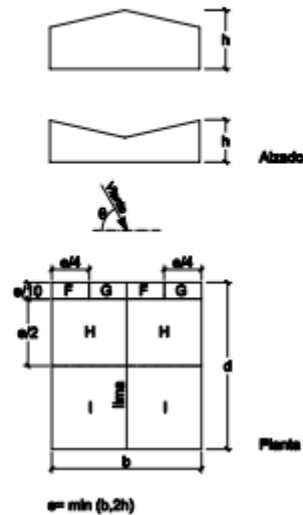
$$A \geq 10\text{m}^2$$

$$e = \min(b, 2h) = 23\text{m}$$

	F	G	H	I	J
SUCCIÓN	-1.7	-1.2	-0.6	-0.6	0.2
PRESIÓN	0	0	0	-0.6	-0.6

2. Viento de frente.

b) Dirección del viento $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$



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

Figura 9. Cubiertas a dos aguas. Dirección del viento $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$

Nuestra cubierta tiene $5,71^\circ$ de inclinación. Nos ayudamos de la figura anterior para obtener el valor de los coeficientes para las diferentes zonas.

Para nuestro caso estudiando la influencia del viento en las distintas zonas de la cubierta:

$$A \geq 10\text{m}^2$$

$$e = \min(b, 2h) = 23\text{m}$$

	F	G	H	I
SUCCIÓN	-1.6	-1.3	-0.7	-0.6

Ahora vamos a estudiar la presión interior. Para ello, tal y como hemos indicado antes aplicaremos la fórmula: $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$, sin embargo los coeficientes toman valores diferentes a los que hemos utilizado para la presión exterior.

La presión dinámica será 0.52 KN/m^2 , ya explicada con anterioridad, ésta no cambia de valor para la exterior e interior.

En edificios de una sola planta, se considerará como coeficiente de exposición el correspondiente a la altura del punto medio del hueco, salvo que exista un hueco dominante, en cuyo caso el coeficiente de exposición será el correspondiente a la altura media de dicho hueco. Teniendo en cuenta esto y ayudandonos de la tabla de la figura 7, adoptamos un valor de 1,3 para el coeficiente de exposición.

Si el edificio presenta grandes huecos la acción del viento genera, además de presiones en el exterior, presiones en el interior, que se suman a las anteriores.

El coeficiente eólico de presión interior, c_{pi} , se considera único en todos los paramentos interiores del edificio que delimitan la zona afectada por la fachada o cubierta que presenta grandes huecos. El coeficiente de presión interior obtendrá un valor. Cuando el viento pega de frente por el lado del cerramiento, éste será sotavento. En el caso de que la nave tenga algún hueco se deberá estudiar también a barlovento, tomando entonces el coeficiente de presión interior dos valores.

Para estos casos el valor del coeficiente de presión interior se tomará de la tabla 3.6 que se presenta a continuación. En ella hay que entrar con la esbeltez en el plano paralelo al viento, que será la relación entre la altura de cumbrera y la longitud del largo de la nave, y con la relación del área de huecos en zonas de succión respecto al área de huecos total.

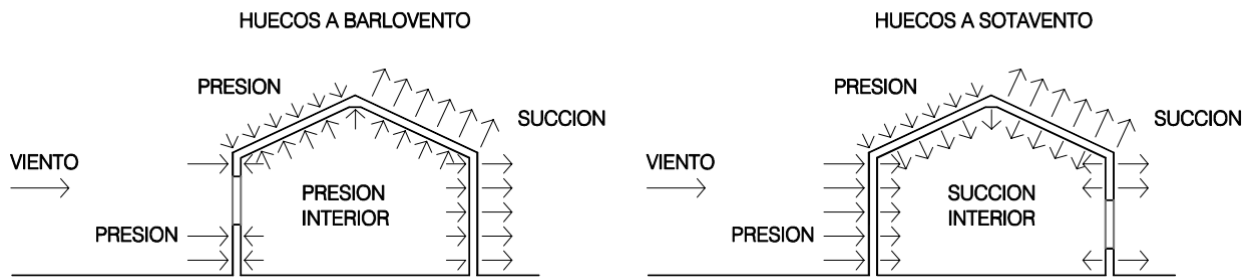


Figura 10. Presiones ejercidas por el viento en una construcción con grandes huecos.

Al tratarse de una nave con dos puertas en cada plano transversal se determina que la nave consta de cuatro puertas de 25m^2 cada una. Se tomarán las puertas de las fachadas transversales como abiertas o cerradas en conjunto y a conveniencia de las estimaciones oportunas de cálculo.

Consecuentemente, se establece que la situación más desfavorable consiste en mantener las puertas transversales de un plano abiertas y las del otro plano transversal cerradas. Además, dada la simetría de la nave, se pueden simplificar los cálculos a dos situaciones.

Para realizar el cálculo del coeficiente de presión interior se precisan los valores referentes a la esbeltez en el plano paralelo al viento y al área de los huecos en la zona de succión respecto al área total de huecos del edificio.

La esbeltez en el plano paralelo al viento será:

$$h/b = 11,5/50 = 0,23 < 1$$

A continuación analizaremos el área de huecos a succión con respecto al área total de huecos lo que nos generará las dos situaciones mencionadas anteriormente:

Huecos a barlovento (puertas abiertas en la fachada por donde incide el viento)
 $= 0\text{m}^2/50\text{m}^2 = 0$, luego $c_{pi} = 0,7$

Huecos a sotavento (puertas cerradas en la fachada por donde incide el viento) =
 $50\text{m}^2/50\text{m}^2 = 1$, luego $c_{pi} = -0,5$

Una vez calculadas las áreas de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos de la nave, introducimos los datos en la siguiente tabla y obtenemos los coeficientes de presión interior.

Tabla 3.6 Coeficientes de presión interior

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

Figura 11. Tabla 3.6. Coeficientes de presión interior

Con lo que obtendremos un coeficiente de presión interior (c_{pi}) diferente para cada situación estudiada.

Resultados de la acción del viento

Con los coeficientes obtenidos aplicamos la siguiente fórmula para calcular la presión estática del viento (q_e):

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

ACCION EXTERIOR DEL VIENTO

	Transversal		Longitudinal
	PRESIÓN	SUCCIÓN	SUCCIÓN
F	$1,9 \cdot 0,52 \cdot 0 = 0$	$1,9 \cdot 0,52 \cdot (-1,7) = -1,68$	$1,9 \cdot 0,52 \cdot (-1,6) = -1,58$
G	$1,9 \cdot 0,52 \cdot 0 = 0$	$1,9 \cdot 0,52 \cdot (-1,2) = -1,19$	$1,9 \cdot 0,52 \cdot (-1,3) = -1,28$
H	$1,9 \cdot 0,52 \cdot 0 = 0$	$1,9 \cdot 0,52 \cdot (-0,6) = -0,59$	$1,9 \cdot 0,52 \cdot (-0,7) = -0,69$
I	$1,9 \cdot 0,52 \cdot 0 = 0$	$1,9 \cdot 0,52 \cdot (-0,6) = -0,59$	$1,9 \cdot 0,52 \cdot (-0,6) = -0,59$
J	$1,9 \cdot 0,52 \cdot 0,2 = 0,2$	$1,9 \cdot 0,52 \cdot (-0,6) = -0,59$	

ACCION INTERIOR DEL VIENTO

Huecos a barlovento (Presión interior)

$$q_{vp}^{int} = 0,52 \cdot 1,3 \cdot 0,7 = 0,47 \text{ kN/m}^2$$

Huecos a sotavento (Succión interior)

$$q_{vs}^{int} = 0,52 \cdot 1,3 \cdot (-0,5) = -0,34 \text{ kN/m}^2$$

RESULTADOS TOTALES

$$q_v = q_v^{ext} - q_v^{int}$$

TRANSVERSAL

Puesto que no existen huecos importantes en los cerramientos laterales de la nave, no se producirá ningún tipo de presión interior: $q_v^{int} = 0$

Consecuentemente:

$$q_v = q_v^{ext}$$

PRESION	SUCCION
$q_f = 0$	$q_f = -1,68$
$q_g = 0$	$q_g = -1,19$
$q_h = 0$	$q_h = -0,59$
$q_i = 0$	$q_i = -0,59$
$q_j = 0,2$	$q_j = -0,59$

LONGITUDINAL

Huecos a barlovento	Huecos a sotavento
SUCCION	SUCCION
$q_f = -2,05$	$q_f = -1,24$
$q_g = -1,75$	$q_g = -0,94$

$q_h = -1,16$	$q_h = -0,35$
$q_j = -1,06$	$q_j = -0,25$

RESULTADOS FINALES

A la vista de los resultados obtenidos, seleccionamos los más desfavorables, que son los que emplearemos para cálculos posteriores siendo:

$$q_{vp} = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{vs} = -2,05 \text{ kN/m}^2$$

4.2.5. Resumen de cargas

Procedemos a exponer un breve resumen de las cargas obtenidas para el cálculo posterior de las combinaciones de cargas:

Cargas permanentes

PESO PROPIO

$$q_{ppy} = 19,00 \text{ kg/m}^2 = 0,186 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{ppx} = 1,90 \text{ kg/m}^2 = 0,019 \text{ kN/m}^2$$

Cargas variables

SOBRECARGA DE USO

$$q_{suy} = 0,396 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{sux} = 0,039 \text{ kN/m}^2$$

SOBRECARGA DE NIEVE

$$q_{ny} = 0,296 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{nx} = 0,030 \text{ kN/m}^2$$

EFFECTO DEL VIENTO (MÁS DESFAVORABLE)

Presión: $q_{vp} = 0,2 \text{ kN/m}^2$

Succión: $q_{vs} = -2,05 \text{ kN/m}^2$

4.3. COMBINACIONES DE CARGAS

A continuación, se describe el proceso seguido, según Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad Estructural, para plantear las posibles combinaciones de hipótesis de carga y posteriormente seleccionar las más peligrosas.

El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

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

Es decir, considerando la acción simultánea de:

- a) todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluido el pretensado ($\gamma_P \cdot P$);
- b) una acción variable cualquiera, en valor de cálculo ($\gamma_Q \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- c) el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación ($\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$).

Los valores de los coeficientes de seguridad, γ , se establecen en la tabla 4.1 para cada tipo de acción, atendiendo para comprobaciones de resistencia a si su efecto es desfavorable o favorable, considerada globalmente.

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

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

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

Figura 12. Tabla 4.1. Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones.

Para comprobaciones de estabilidad, se diferenciará, aun dentro de la misma acción, la parte favorable (la estabilizadora), de la desfavorable (la desestabilizadora).

Los valores de los coeficientes de simultaneidad que se emplean en las combinaciones, ψ_0 , se establecen en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

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

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

Figura 13. Tabla 4.2. Coeficiente de simultaneidad (ψ) para las acciones.

Siguiendo los pasos descritos anteriormente, se estudian 9 combinaciones de hipótesis de carga que quedan de la siguiente manera:

1. ~~$\gamma_G \cdot Q_{PP}$~~
2. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_{SU} \cdot Q_{SU}$
3. ~~$\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_N \cdot Q_N$~~
4. ~~$\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VP}$~~
5. ~~$\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VS}$~~
6. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_N \cdot Q_N + \psi_0 \cdot \gamma_V \cdot Q_{VP}$
7. ~~$\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_N \cdot Q_N + \psi_0 \cdot \gamma_V \cdot Q_{VS}$~~
8. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VP} + \psi_0 \cdot \gamma_N \cdot Q_N$
9. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VS} + \psi_0 \cdot \gamma_N \cdot Q_N$

En esta ocasión se pueden tachar ciertos valores, pues observándolos directamente la lógica dice que van a ser menores en comparación con alguna ecuación restante. Por ejemplo, la ecuación del peso propio evidentemente presentará un resultado menor al de la ecuación de peso, nieve y viento a presión. De la misma forma se han despreciado las fórmulas de dos valores, exceptuando la de sobrecarga de uso, ya que las últimas cuatro ecuaciones complementan las anteriores con un elemento adicional, generando en comparación un resultado mayor. Por último, cabe destacar también, que la fórmula de peso propio con nieve y viento a succión es irrelevante y claramente sustituida por la última ecuación, de peso propio, viento a succión y nieve, dados los coeficientes parciales de seguridad, que en ese caso concreto hace nulo el valor de la sobrecarga de nieve, y los coeficientes de simultaneidad, los cuales reducen el efecto del viento a succión en la ecuación desechada.

Aclarando dichos puntos, se prosigue introduciendo los valores recopilados en el apartado anterior en las fórmulas seleccionadas, bien en perpendicular como en paralelo:

Perpendicular y paralelo

$$\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_{SU} \cdot Q_{SU}$$

- Perpendicular = $1,35 \cdot 0,186 + 1,5 \cdot 0,396 = 0,845 \text{ kN/m}^2$

- Paralelo = $1,35 \cdot 0,019 + 1,5 \cdot 0,039 = 0,084 \text{ kN/m}^2$

$$Y_G \cdot Q_{PP} + Y_N \cdot Q_N + \psi_0 \cdot Y_V \cdot Q_{VP}$$

- Perpendicular = $1,35 \cdot 0,186 + 1,5 \cdot 0,296 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,2 = 0,875 \text{ kN/m}^2$
- Paralelo = $1,35 \cdot 0,019 + 1,5 \cdot 0,030 = 0,070 \text{ kN/m}^2$

$$Y_G \cdot Q_{PP} + Y_V \cdot Q_{VP} + \psi_0 \cdot Y_N \cdot Q_N$$

- Perpendicular = $1,35 \cdot 0,186 + 1,5 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,296 = 0,773 \text{ kN/m}^2$
- Paralelo = $1,35 \cdot 0,019 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,030 = 0,048 \text{ kN/m}^2$

$$Y_G \cdot Q_{PP} + Y_V \cdot Q_{VS} + \psi_0 \cdot Y_N \cdot Q_N$$

- Perpendicular = $0,8 \cdot 0,186 + 1,5 \cdot (-2,05) = -2,926 \text{ kN/m}^2 < 3,66 \text{ kN/m}^2$
- Paralelo = $0,8 \cdot 0,019 = 0,015 \text{ kN/m}^2$

Teniendo en cuenta que la cubierta es capaz de soportar una tensión máxima admisible de $3,66 \text{ kN/m}^2$, con esta última comprobación se confirma que la cubierta escogida es capaz de soportar las cargas a las cuales será sometida.

5. CERRAMIENTO LATERAL

5.1. ELECCIÓN DEL CERRAMIENTO DE FACHADA

Elegiremos para la fachada un Panel Basic de Fachada TV de la gama ACH. Es un panel metálico autoportante, con aislamiento en espuma de poliuretano y utilizado en las fachadas de edificios industriales y comerciales. Para elegir entre los diferentes tipos de panel tenemos en cuenta que será multiapoyado, con una distancia entre correas de 1,5m y elegiremos aquel que tiene un espesor de 60mm.

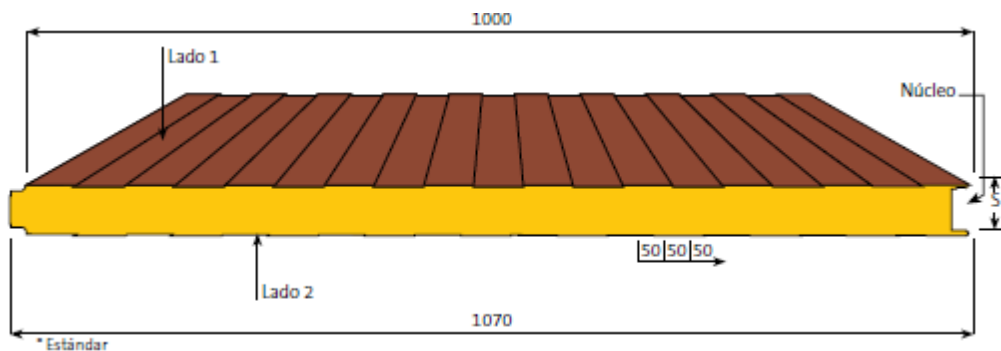


Figura 14. Cerramiento de fachada

El panel dispone de las siguientes características técnicas:

Acero - acero

s mm	K		Peso panel kg/m ²	P										
	Kcal m ² h °C	Watt m ² °C		Δ I Δ I Δ I Δ					Δ I Δ I Δ I Δ					
			0,5+0,5	p=(daN/m ²)	60	80	100	120	150	60	80	100	120	150
30	0,56	0,65	9,56	l =	2,80	2,65	2,45	2,20	2,00	2,40	2,25	2,05	1,95	1,75
35	0,48	0,56	9,77	l =	3,35	3,15	2,90	2,60	2,30	2,90	2,70	2,50	2,30	2,10
40	0,43	0,50	9,96	l =	3,55	3,35	3,15	2,90	2,60	3,25	3,00	2,80	2,60	2,30
50	0,35	0,41	10,34	l =	4,05	3,80	3,55	3,25	2,85	3,60	3,35	3,05	2,85	2,50
60	0,29	0,34	10,72	l =	4,50	4,15	3,80	3,50	3,05	3,95	3,70	3,45	3,15	2,70

Figura 15. Características técnicas del panel

Analizando nuestras necesidades nos decantamos por un panel de 60mm de espesor el cual tiene un peso de 10,72 kg/m².

De la tabla de características anterior podemos ver que el panel podría soportar

una carga máxima de $3,05\text{kN/m}^2$.

5.2. CÁLCULOS DE LA FACHADA

Tras haber realizado la selección de la fachada, se procede al cálculo de las diferentes acciones que inciden en ella. Agrupamos dichas acciones en dos grupos diferentes:

- Acciones permanentes: el peso propio de la cubierta.
- Acciones variables: la sobrecarga de uso, de nieve y de viento que inciden en ella.

En el caso del cerramiento de fachada, al contrario que en el caso de la cubierta, tanto la sobrecarga de uso como la sobrecarga de nieve son nulas. Al ser un paramento vertical no se le ejercerá ninguna sobrecarga de uso y por la misma razón (paramento vertical) no se acumulará nieve sobre éste.

Tomando estas consideraciones en cuenta simplificaremos las acciones sobre la fachada al peso propio de ésta y a la acción que el viento ejerce sobre dicha cubierta.

5.2.1. Peso propio

El peso propio es la carga propia del panel:

$$\text{Peso} = 10,72 \text{ kg/m}^2$$

Se trata de una carga gravitatoria que tiene una dirección vertical. En el caso de la fachada la carga del panel es paralela a éste por lo que no es necesario descomponer dicha carga.

5.2.2. Sobrecarga de viento

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

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

Presión dinámica

Se conoce como la presión dinámica del viento. De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse $0,5 \text{ kN/m}^2$. Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo D, en función del emplazamiento geográfico de la obra.

El valor básico de la presión dinámica del viento puede obtenerse con la expresión:

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

siendo δ la densidad del aire y v_b el valor básico de la velocidad del viento.

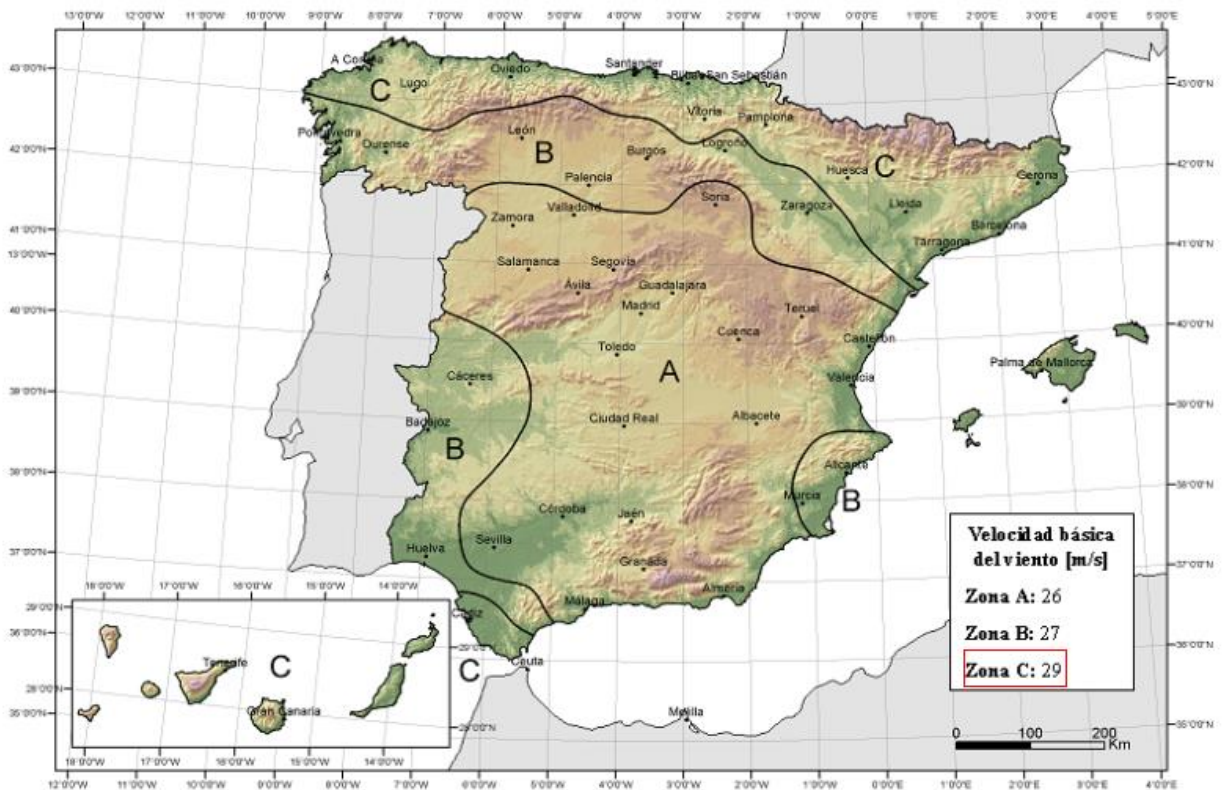


Figura 16. Valor básico de la velocidad del viento

El valor básico de la velocidad del viento en cada localidad puede obtenerse del mapa de la figura D.1. El de la presión dinámica es, respectivamente de $0,42 \text{ kN/m}^2$, $0,45 \text{ kN/m}^2$ y $0,52 \text{ kN/m}^2$ para las zonas A, B y C de dicho mapa.

Luego en nuestro caso:

$$q_b = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

Coeficiente de exposición

El coeficiente de exposición tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Su valor se puede tomar de la tabla 3.4, siendo la altura del punto considerado la medida respecto a la rasante media de la fachada a barlovento.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

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

Figura 17. Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición, c_e .

Interpolando:

$$c_e = 1,9$$

Coeficiente de presión

Los coeficientes de presión exterior o eólico, c_p , dependen de la dirección relativa del viento, de la forma del edificio, de la posición de elemento considerado y de su área de influencia.

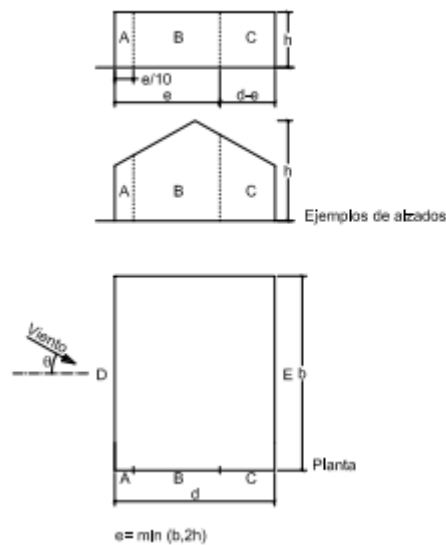
En las tablas D.3 a D.13 se dan valores de coeficientes de presión para diversas formas simples de construcciones, obtenidos como el pésimo de entre los del abanico de direcciones de viento definidas en cada caso. El signo “ $-$ ” indica que el valor es idéntico al de la casilla superior. Cuando se aportan dos valores de distinto signo separados, significa que la acción de viento en la zona considerada puede variar de presión a succión, y que deben considerarse las dos posibilidades. En todas las tablas puede interpolarse linealmente para valores intermedios de las variables. Los valores nulos se ofrecen para poder interpolar.

Para comprobaciones locales de elementos de fachada o cubierta, el área de influencia será la del propio elemento.

Para los coeficientes de presión exterior, tendremos diferentes tablas según la dirección del viento (izquierda-derecha, frente).

1. Comenzamos con el viento en dirección izquierda-derecha.

Tabla D.3 Paramentos verticales



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

Figura 18. Paramentos verticales

Nos ayudamos de la figura anterior para obtener el valor de los coeficientes para las diferentes zonas.

Para nuestro caso estudiando la influencia del viento en las distintas zonas de la

cubierta:

$$A \geq 10\text{m}^2$$

Por otro lado el parámetro h/d relaciona la altura y el ancho de la nave, con lo que $11,5/30 = 0,38$. Con los datos que tenemos obtenemos los valores de los coeficientes necesarios.

Como ya sabemos los valores positivos indican presión y los valores negativos indican succión.

$A \geq 10\text{m}^2$	A	B	C	D	E
$h/d = 0,38$	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3

2. Viento de frente.

Tabla D.3 Paramentos verticales

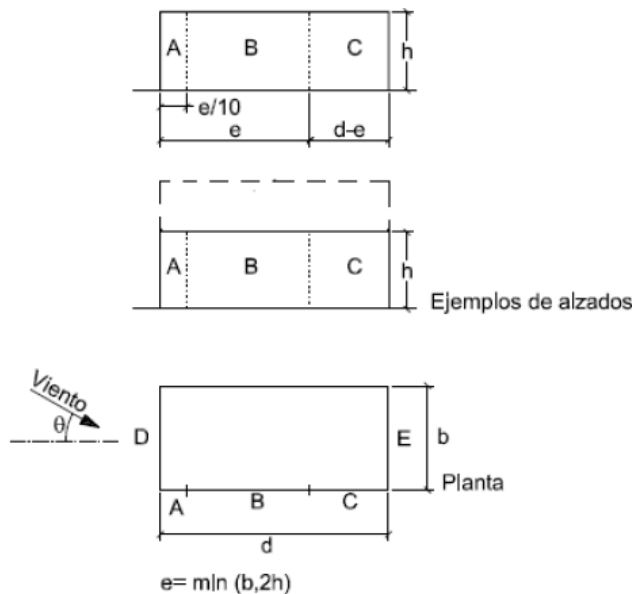


Figura 19. Paramentos verticales

Nos ayudamos de la figura anterior para obtener el valor de los coeficientes para las diferentes zonas.

Para nuestro caso estudiando la influencia del viento en las distintas zonas de la cubierta:

$$A \geq 10\text{m}^2$$

Por otro lado el parámetro h/d relaciona la altura y el ancho de la nave, con lo que $11,5/50 = 0,23$. Con los datos que tenemos obtenemos los valores de los coeficientes necesarios.

Como ya sabemos los valores positivos indican presión y los valores negativos indican succión.

$A \geq 10\text{m}^2$	A	B	C	D	E
$h/d \leq 0.25$	-1.2	-0.8	-0.5	0.7	-0.3

Ahora vamos a estudiar la presión interior. Para ello, tal y como hemos indicado antes aplicaremos la fórmula: $q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$, sin embargo los coeficientes toman valores diferentes a los que hemos utilizado para la presión exterior.

La presión dinámica será 0.52 KN/m^2 , ya explicada con anterioridad, ésta no cambia de valor para la exterior e interior.

En edificios de una sola planta, se considerará como coeficiente de exposición el correspondiente a la altura del punto medio del hueco, salvo que exista un hueco dominante, en cuyo caso el coeficiente de exposición será el correspondiente a la altura media de dicho hueco. Teniendo en cuenta esto y audandonos de la tabla de la figura 7, adoptamos un valor de 1,3 para el coeficiente de exposición.

Si el edificio presenta grandes huecos la acción del viento genera, además de presiones en el exterior, presiones en el interior, que se suman a las anteriores.

El coeficiente eólico de presión interior, c_{pi} , se considera único en todos los paramentos interiores del edificio que delimitan la zona afectada por la fachada o cubierta que presenta grandes huecos.

El coeficiente de presión interior obtendrá un valor. Cuando el viento pega de frente por el lado del cerramiento, éste será sotavento. En el caso de que la nave tenga algún hueco se deberá estudiar también a barlovento, tomando entonces el coeficiente de presión interior dos valores.

Para estos casos el valor del coeficiente de presión interior se tomará de la tabla 3.6 que se presenta a continuación. En ella hay que entrar con la esbeltez en el plano

paralelo al viento, que será la relación entre la altura de cumbrera y la longitud del largo de la nave, y con la relación del área de huecos en zonas de succión respecto al área de huecos total.

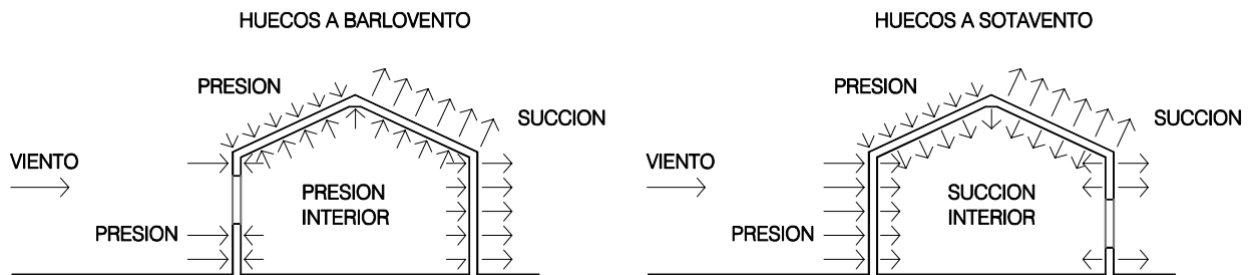


Figura 20. Presiones ejercidas por el viento en una construcción con grandes huecos

Al tratarse de una nave con dos puertas en cada plano transversal se determina que la nave consta de cuatro puertas de 25m² cada una. Se tomarán las puertas de las fachadas transversales como abiertas o cerradas en conjunto y a conveniencia de las estimaciones oportunas de cálculo.

Consecuentemente, se establece que la situación más desfavorable consiste en mantener las puertas transversales de un plano abiertas y las del otro plano transversal cerradas. Además, dada la simetría de la nave, se pueden simplificar los cálculos a dos situaciones.

Para realizar el cálculo del coeficiente de presión interior se precisan los valores referentes a la esbeltez en el plano paralelo al viento y al área de los huecos en la zona de succión respecto al área total de huecos del edificio.

La esbeltez en el plano paralelo al viento será:

$$h/b = 11,5/50 = 0,23 < 1$$

A continuación analizaremos el área de huecos a succión con respecto al área total de huecos lo que nos generará las dos situaciones mencionadas anteriormente:

Huecos a barlovento (puertas abiertas en la fachada por donde incide el viento)
= 0m²/50m² = 0, luego $c_{pi} = 0,7$

Huecos a sotavento (puertas cerradas en la fachada por donde incide el viento) =

$$50\text{m}^2/50\text{m}^2 = 1, \text{ luego } c_{pi} = -0,5$$

Una vez calculadas las áreas de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos de la nave, introducimos los datos en la siguiente tabla y obtenemos los coeficientes de presión interior.

Tabla 3.6 Coeficientes de presión interior

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

Figura 21. Tabla 3.6. Coeficientes de presión interior

Con lo que obtendremos un coeficiente de presión interior (c_{pi}) diferente para cada situación estudiada.

Resultados de la acción del viento

Con los coeficientes obtenidos aplicamos la siguiente fórmula para calcular la presión estática del viento (q_e):

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

ACCION EXTERIOR DEL VIENTO

TRANSVERSAL		
	PRESIÓN	SUCCIÓN
A		$0,52 \cdot 1,9 \cdot (-1,2) = - 1,18$
B		$0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,8) = - 0,79$
C		$0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,5) = - 0,49$
D	$0,52 \cdot 1,9 \cdot 0,7 = 0,69$	
E		$0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,3) = -0,30$

LONGITUDINAL		
	PRESIÓN	SUCCIÓN
A		$0,52 \cdot 1,9 \cdot (-1,2) = - 1,18$

B		$0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,8) = - 0,79$
C		$0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,5) = - 0,49$
D	$0,52 \cdot 1,9 \cdot (0,7) = 0,69$	
E		$0,52 \cdot 1,9 \cdot (-0,3) = - 0,30$

ACCION INTERIOR DEL VIENTO

Huecos a barlovento (Presión interior)

$$q_{vp}^{int} = 0,52 \cdot 1,3 \cdot 0,7 = 0,47 \text{ kN/m}^2$$

Huecos a sotavento (Succión interior)

$$q_{vs}^{int} = 0,52 \cdot 1,3 \cdot (-0,5) = -0,34 \text{ kN/m}^2$$

RESULTADOS TOTALES

$$q_v = q_v^{ext} - q_v^{int}$$

TRANSVERSAL

Puesto que no existen huecos importantes en los cerramientos laterales de la nave, no se producirá ningún tipo de presión interior: $q_v^{int} = 0$

Consecuentemente:

$$q_v = q_v^{ext}$$

PRESION	SUCCION
	$q_a = -1,18$
	$q_b = -0,79$
	$q_c = -0,49$

$q_d = 0,69$	
	$q_e = -0,30$

LONGITUDINAL

Huecos a barlovento		Huecos a sotavento	
PRESION	SUCCION	PRESION	SUCCION
	$q_a = -1,18 - 0,47 = -1,65$		$q_a = -1,18 + 0,34 = -0,84$
	$q_b = -0,79 - 0,47 = -1,26$		$q_b = -0,79 + 0,34 = -0,45$
	$q_c = -0,49 - 0,47 = -0,96$		$q_c = -0,49 + 0,34 = -0,15$
$q_d = 0,69 - 0,47 =$ 0,22		$q_d = 0,69 + 0,34 =$ 1,03	
	$q_e = -0,30 - 0,47 = -0,77$		$q_e = -0,30 + 0,34 = 0,04$

RESULTADOS FINALES

A la vista de los resultados obtenidos, seleccionamos los más desfavorables, que son los que emplearemos para cálculos posteriores siendo:

$$q_{vp} = 1,03 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{vs} = -1,65 \text{ kN/m}^2$$

5.2.3. Resumen de cargas

Procedemos a exponer un breve resumen de las cargas obtenidas para el cálculo posterior de las combinaciones de cargas:

Cargas permanentes

PESO PROPIO

$$q_{pp} = 10,72 \text{ kg/m}^2 = 0,105 \text{ kN/m}^2$$

Cargas variables

EFFECTO DEL VIENTO (MAS DESFAVORABLE)

$$\text{Presión: } q_{vp} = 1,03 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Succión: } q_{vs} = -1,65 \text{ kN/m}^2$$

5.3. COMBINACIONES DE CARGAS

A continuación, se describe el proceso seguido, según Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad Estructural, para plantear las posibles combinaciones de hipótesis de carga y posteriormente seleccionar las más peligrosas.

El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

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

Es decir, considerando la acción simultánea de:

- a) todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluido el pretensado ($\gamma_P \cdot P$);
- b) una acción variable cualquiera, en valor de cálculo ($\gamma_Q \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- c) el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación ($\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$).

Los valores de los coeficientes de seguridad, γ , se establecen en la tabla 4.1 para cada tipo de acción, atendiendo para comprobaciones de resistencia así su efecto es desfavorable o favorable, considerada globalmente.

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

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

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

Figura 22. Tabla 4.1. Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Para comprobaciones de estabilidad, se diferenciará, aun dentro de la misma acción, la parte favorable (la estabilizadora), de la desfavorable (la desestabilizadora).

Los valores de los coeficientes de simultaneidad que se emplean en las combinaciones, ψ_0 , se establecen en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

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

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

Figura 23. Tabla 4.2. Coeficiente de simultaneidad (ψ) para las acciones

Siguiendo los pasos descritos anteriormente, se estudian 9 combinaciones de

hipótesis de carga que quedan de la siguiente manera:

1. $\gamma_G \cdot Q_{PP}$
2. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_{SU} \cdot Q_{SU}$
3. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_N \cdot Q_N$
4. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VP}$
5. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VS}$
6. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_N \cdot Q_N + \psi_0 \cdot \gamma_V \cdot Q_{VP}$
7. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_N \cdot Q_N + \psi_0 \cdot \gamma_V \cdot Q_{VS}$
8. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VP} + \psi_0 \cdot \gamma_N \cdot Q_N$
9. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VS} + \psi_0 \cdot \gamma_N \cdot Q_N$

En esta ocasión, para el caso de la fachada, se pueden desechar ciertos valores, ya que para este caso en concreto sólo se presentan el peso propio del cerramiento y la acción que el viento ejerce sobre él. De la misma manera, podemos desechar alguna de las fórmulas, quedándonos con las más críticas o desfavorables.

Resumiendo bajo las premisas consideradas anteriormente, nos quedaremos con las fórmulas que contienen tanto el peso propio como la acción del viento.

- ~~1. $\gamma_G \cdot Q_{PP}$~~
- ~~2. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_{SU} \cdot Q_{SU}$~~
- ~~3. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_N \cdot Q_N$~~
4. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VP}$
5. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VS}$
- ~~6. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_N \cdot Q_N + \psi_0 \cdot \gamma_V \cdot Q_{VP}$~~
- ~~7. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_N \cdot Q_N + \psi_0 \cdot \gamma_V \cdot Q_{VS}$~~
- ~~8. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VP} + \psi_0 \cdot \gamma_N \cdot Q_N$~~
- ~~9. $\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VS} + \psi_0 \cdot \gamma_N \cdot Q_N$~~

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores procedemos a introducir los datos recabados con anterioridad, tanto en perpendicular como en paralelo.

Perpendicular y paralelo

$$\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VP}$$

- Perpendicular = $0 + 1,5 \cdot 1,03 = 1,545 \text{ kN/m}^2$
- Paralelo = $1,35 \cdot 0,105 + 0 = 0,142 \text{ kN/m}^2$

$$\gamma_G \cdot Q_{PP} + \gamma_V \cdot Q_{VS}$$

- Perpendicular = $0 + 1,5 \cdot (-1,65) = -2,475 \text{ kN/m}^2 < 3,05 \text{ kN/m}^2$
- Paralelo = $0,8 \cdot 0,105 + 0 = 0,084 \text{ kN/m}^2$

Teniendo en cuenta que la fachada es capaz de soportar una tensión máxima admisible de $3,05 \text{ kN/m}^2$, con esta última comprobación se confirma que la fachada escogida es capaz de soportar las cargas a las cuales ésta será sometida.

6. GRÚA PUENTE

6.1. DATOS DE PARTIDA DE LA GRÚA PUENTE

El puente grúa es uno de los sistemas de manutención y transporte de productos que más se utiliza en la industria. Se desplaza longitudinalmente en naves industriales apoyando las ruedas del mismo en caminos de rodadura denominados vigas carril. A su vez, las vigas carril se apoyan en los soportes o pilares de la estructura del edificio de la nave.

Dotaremos a la nave de una grúa puente, necesaria para el transporte tanto de materiales y piezas realizadas así como para el movimiento ocasional de maquinaria.

Las características principales de la grúa puente son las siguientes:

- Grúa birrail.
- Capacidad de carga: 12,5 toneladas.
- Altura de colocación de la grúa: 7 metros.
- Luz: 22 metros.
- Disposición de cuatro ramales.

6.2. CLASIFICACIÓN DEL POLIPASTO

6.2.1 Clasificación según las condiciones de servicio

Para un correcto y efectivo funcionamiento del polipasto debe de elegirse la clasificación adecuada para cada tipo de aplicación. Según la normativa FEM 9.511 la clasificación depende de los siguientes factores:

- Espectro de carga
- Tiempo medio de funcionamiento por día de trabajo

a) Espectro de carga

El espectro de carga se evalúa en base a 4 tipos de condiciones de servicio.

1. Ligero	2. Medio
Ocasionalmente carga máxima Regularmente carga moderada Carga muerta pequeña	Carga máxima frecuente Regularmente carga pequeña Carga muerta media
3. Pesado	4. Muy pesado
Carga máxima frecuente Regularmente carga media Carga muerta grande	Regularmente carga máxima Carga muerta muy grande

Figura 24. Tabla de determinación del espectro de carga

De acuerdo a la tabla anterior clasificaremos nuestro polipasto como ligero.

b) Tiempo medio de funcionamiento por día de trabajo

El tiempo medio de trabajo (t) se calcula:

$$t = \frac{2 \cdot H \cdot N \cdot T}{V \cdot 60}$$

H = Altura media de elevación [m]

N = Numero de ciclos por hora [ciclos/h].

Un ciclo consiste en un movimiento de elevación y otro de descenso

T = Tiempo de trabajo [h]

V = velocidad de elevación [m/min]

Para nuestro caso concreto:

$$t = \frac{2 \cdot 6 \cdot 15 \cdot 8}{60 \cdot 6} = 4 \text{ h}$$

6.2.2 Determinación del grupo de trabajo

Cuando se ha determinado el espectro de carga y el tiempo medio de

funcionamiento puede obtenerse la clasificación necesaria para el polipasto:

Espectro de carga	Tiempo medio de funcionamiento UNE/ISO/FEM (horas por día)					
	0.5	1	2	4	8	16
Ligero			M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m	M6 3m
Medio		M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m
Pesado	M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m	
Muy pesado	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m		

Figura 25. Tabla clasificación grupo de trabajo

Por lo que nuestro polipasto pertenecerá al grupo de trabajo M4 según FEM.

6.2.3 Elección del polipasto

Una vez clasificado el polipasto ya podemos elegir el polipasto que mejor se adapte a las necesidades de nuestra grúa puente. Nos hemos decantado por un polipasto del tipo CX125H*4/1L* suministrado por la empresa JASO, siguiendo las indicaciones pertinentes para la elección del mismo. En la siguiente tabla del catálogo de JASO podemos observar las características técnicas de dicho polipasto.

Capacidad Capacity	Tipo Type	Nº Ramales Nº Falls	Ø Cable Wire rope (mm)	Potencia motor Motor power (KW)	Tamaño motor Motor size	Grupo FEM / FEM Group			Recorrido de gancho (m) Lifting height (m)						
						M4	M5	M6	H06	H10	H18	H22	H22	H26	H30
12500	CX125H*4/1S*	4/1	13	10 kw	160 M	4			6	10	14	18	22		
	CX125H*4/1L*	4/1	13	15 kw	180 L	6	5 ; 4		6	10	14	18	22		
	DX125H*4/1S*	4/1	16	15 kw	180 M			4	6	10	14	18	22		26
	DX125H*4/1L*	4/1	16	22,5 kw	200 L				6	10	14	18	22	26	
	EX125H*2/1S*	2/1	20	22,5 kw	200 L	8		6		20	28	36	44	52	
	EX125H*2/1L*	2/1	20	31 kw	200 XL			10 ; 8	6		20	28	36	44	52

Figura 26. Características técnicas del polipasto

6.3. ELECCIÓN DE LOS TESTEROS

Del mismo modo que para elección del polipasto utilizaremos el catálogo de JASO para determinar los testers necesarios y que mejor se adapten a nuestro puente grúa. Para ello nos iremos al gráfico de testers grúa birrales y tomaremos el número

de referencia de los testers necesarios para soportar la luz y capacidad de carga de nuestra grúa puente:

TESTEROS GRÚAS BIRRAÍLES
DOUBLE GIRDER END CARRIAGES

CAPACIDAD CAPACITY	LUZ GRÚA (m) CRANE SPAN (m)													
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1.600														
2.000														
2.500			2											
3.200														
4.000														
5.000														
6.300						3								
8.000														
10.000														
12.500														
16.000														
20.000														
25.000														
32.000														
40.000														
50.000														
63.000														
80.000														

Nº	REFERENCIA REFERENCE
16	250325

Figura 27. Tabla de referencia testers

Por lo que nuestros testers tendrán un número de referencia 250325.

Del mismo modo las cargas medias admisibles por rueda:

CARGAS MEDIAS ADMISIBLES POR RUEDA. S/NORMAS FEM 1987, GRUPO M4 (KG)
AVERAGE WORKING LOADS PER WHEEL, PER FEM 1987, GROUP M4 (KG)

Ø (mm)	Ancho cuadradillo mm Width square-bar mm	Reacción máxima kg. Maximun reaction kg.
125	40	4295
160	40	5425
200	40	7100
250	40	8945
315	40	11650
400	50	19570
500	50	24680
630	60	50325

Figura 28. Cargas medias admisibles por rueda

Utilizando el número de referencia de nuestros testers obtenemos las dimensiones de los mismos:

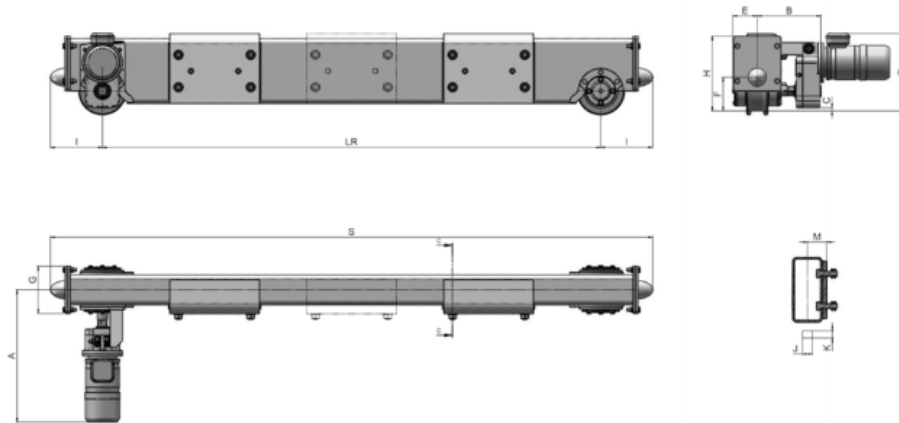


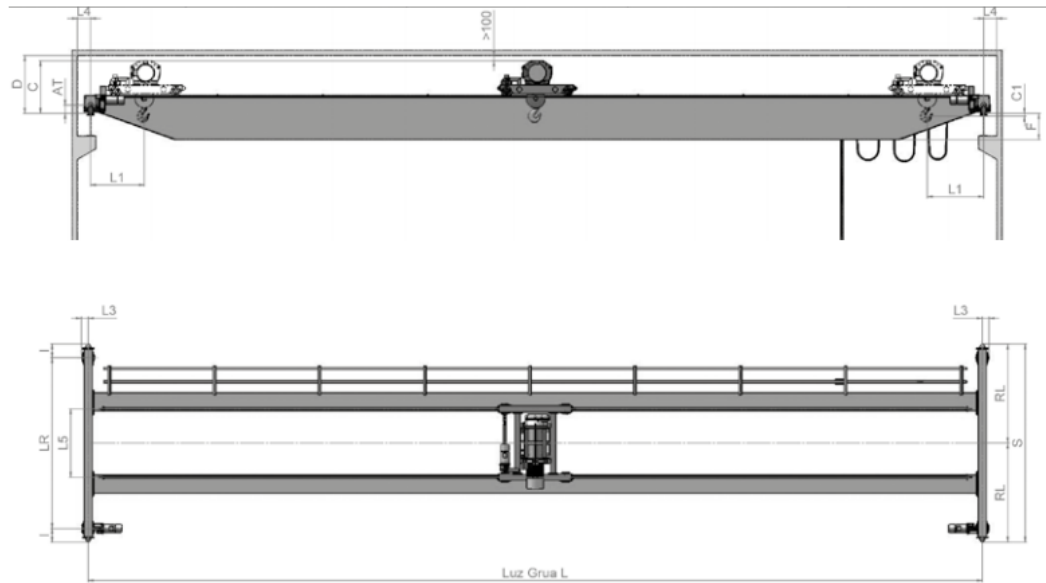
TABLA DE DIMENSIONES
DIMENSIONS

TIPO TYPE	Rueda Wheel	A	B	C	D	E	F	G	H	I	LR	S	J	K	M
	Ø mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
250325	250	679	275	49	426	140	180	243	380	285	3250	3820	40	30	103

Figura 29. Dimensiones de los testeros

6.4. ELECCIÓN DE LA GRÚA PUENTE

Debido fundamentalmente a la amplia luz que debemos salvar con la grúa puente nos decantamos por una grúa puente birraíl suministrado por la marca JASO. Dicha puente grúa está capacitada para levantar cargas de hasta 12.500 kg. Las características de dicha grúa puente se adjuntan en la siguiente tabla.



Capacidad Tns.	L														
	Luz m	L1	L2	L3	L4	L5	AT	C1	C	D	F	I	LR	RL	S
12,5	< 10,5	985	985	127	200	1.300	155	55	1.015	1.115	301	260	2.500	1.510	3.020
	> 10,5 - 12,5	995	995	140		1.600	180	-10	1.080	1.180	351	285	3.250	1.885	3.770
	> 12,5 - 22,5	1.025	1.025	160	250	2.000	228	-50	1.120	1.220	796	330	4.000	2.330	4.660
	> 22,5 - 28,5										896	330	4.500	2.580	5.160
> 28,5 - 30															

Figura 30. Características de la grúa

6.5. CÁLCULO DE LA VIGA CARRIL

Para el cálculo de la viga carril seguiremos las indicaciones pertinentes establecidas en la norma UNE 76-201-88, “Construcciones metálicas, Caminos de rodadura de puentes grúa. Bases de Cálculo”.

6.5.1. Clasificación de los puentes grúa

Todo puente grúa se proyecta para cumplir unos requisitos prefijados, entre los que cabe destacar, además de la carga nominal ya mencionada, su vida de servicio y la secuencia de variación aleatoria del valor de las diferentes cargas, izadas durante tal vida.

La norma UNE 58-112 define la vida de servicio de un aparato de elevación mediante el número máximo convencional de ciclos de maniobra que se espera que sean realizados; mientras que la secuencia de variación del valor de las diferentes cargas izadas la define mediante el coeficiente nominal, o parámetro, del espectro de

cargas K_Q .

La misma norma especifica el valor máximo convencional de maniobras de un aparato a partir de las condiciones de utilización de éste; mientras que el parámetro del espectro de cargas es fijado en función de sus condiciones, o estados, de carga

Además, en la misma norma se recoge una clasificación global de los aparatos de elevación por grupos.

Para nuestro caso en concreto seleccionamos de la tabla 1 la denominación de puente grúa de taller con gancho que es la que mejor se adapta a nuestro caso en concreto.

Tabla 1
Ejemplo de clasificación de los aparatos de elevación

Denominación	Condiciones de utilización	Condiciones de carga	Grupo
Puente grúa de central	A	1-2	1-2
Puente grúa de montaje y desmontaje para sala de máquinas	A	2-3	2-3
Puente grúa de almacén	B-C	2-3	3-4-5-6
Puente grúa de taller con gancho	B	2-3	3-4
Puente grúa con cuchara	B-C-D	4	5-6-7-8
Puente grúa para parque de chatarra o puente con electroimán*	B-C	4	5-6-7-8
Puente de colada*	B	4	5-6
Puente rompe-fundición*	B-C	4	5-6-7-8
Puente para deslingotar*	C-D	4	7-8
Puente para hornos de fosa*	B-C	4	5-6-7-8
Puente cargador de hornos*	C-D	4	5-6-7-8
Puente para forja*	C-D	4	5-6-7-8
Pórtico con gancho para servicio de parque de material	B-C	3	4-5-6
Pórtico con cuchara	B-C-D	4	5-6-7-8
Pórtico con gancho para descarga o carga sobre vehículo	B-C	3	4-5-6
Pórtico para almacén	B-C-D	4	5-6-7-8
Pórtico para desmontaje de material	A-B	2-3	2-3-4
Grúa para desmontaje y montaje de material	A-B	2-3	2-3-4
Grúa con gancho	B-C	3	4-5-6
Grúa con cuchara	B-C-D	4	5-6-7-8
Grúa de dique	B	3-4	4-5-6
Grúa de puerto con gancho	B-C	3	4-5-6
Grúa de puerto con cuchara	B-C	4	5-6-7-8
Grúa para servicio excepcional	A	1-2	1-2
Grúa flotante con gancho	A-B	3	3-4
Grúa flotante con cuchara	A-B	4	4-5-6
Grúa de astillero	A-B	3	3-4
Grúa de reparación sobre vía férrea	A	2-3	2-3
Grúa de a bordo	B	3-4	4-5-6
Grúa velocipeda automóvil	B-C	3	4-5-6
Grúa derrick	A-B	3	3
Monocarril (según utilización)			4-5-6-7-8
Pórtico y puente para contenedores	B-C	3	4-5-6

* Puente especial.

Figura 31. Tabla 1. Clasificación de los aparatos de elevación

Condiciones de utilización. En función del número convencional máximo de ciclos de maniobra, N_m , que el puente grúa debe cubrir durante su vida de servicio, se establecen las siguientes diez condiciones de utilización, recogidas en la tabla 2. Para nuestro caso en concreto el puente grúa tendrá una utilización regular en servicio ligero, a la cual le corresponde unas condiciones de utilización U_4 y un número convencional de $2,5 \cdot 10^5$ ciclos de maniobra (N_m).

Tabla 2
Condiciones de utilización

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

Figura 32. Tabla 2. Condiciones de utilización

Condiciones de carga. Las condiciones de carga se definen en función de la relación prevista entre las cargas que el puente grúa debe transportar normalmente en servicio y su carga nominal. En la tabla 3 se presentan las cuatro condiciones de carga, Q1, Q2, Q3, Q4, utilizados en el ámbito de la presente norma. Las condiciones de carga de nuestro puente grúa serán las de un aparato que levanta raramente la carga útil y corrientemente cargas muy pequeñas, por lo que su condición de carga será Q1-Ligero y su parámetro del espectro K_Q será de 0,125.

Tabla 3
Condiciones de carga

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

Figura 33. Tabla 3. Condiciones de carga

Grupos de puente grúa. En función de las condiciones de utilización y las de carga, definidas en los apartados anteriores, se clasificarán los puentes grúa en ocho grupos, definidos en la tabla 4. Para nuestro caso en concreto el puente grúa quedará clasificado como perteneciente al grupo 3.

Tabla 4
Clasificación de los puentes grúa

Condiciones de carga	Condiciones de utilización									
	U ₀	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₇	U ₈	U ₉
Q1 - Ligero	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8
Q2 - Moderado	1	1	2	3	4	5	6	7	8	8
Q3 - Pesado	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8
Q4 - Muy Pesado	2	3	4	5	6	7	8	8	8	8

Figura 34. Tabla 4. Clasificación de los puentes grúa.

Coefficientes de efectos dinámicos vertical. Una vez determinado el grupo al que pertenece nuestro puente grúa podemos hallar en la tabla 5 el valor del coeficiente de efectos dinámicos vertical, el cual necesitaremos para calcular las acciones de las ruedas del puente en movimiento. El valor del coeficiente de efectos dinámicos vertical para nuestro caso en concreto viene resaltado en la siguiente tabla:

Tabla 5
Valor del coeficiente de efectos dinámicos vertical

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

Figura 35. Tabla 5. Valor de los coeficientes dinámicos.

6.5.2. Acciones verticales de las ruedas de la grúa puente

Las acciones de las ruedas del puente en movimiento se obtienen a partir de las acciones estáticas máximas correspondientes, multiplicándolas por un coeficiente de efectos dinámicos. Con la notación establecida:

$$V_d = \varphi \cdot V$$

La tabla 5 recoge los valores del coeficiente ϕ correspondiente a los distintos grupos de puentes grúa, tanto para las vigas del camino de rodadura como para el soporte de las mismas. Estos valores corresponden al caso de que, tanto el carril como las ruedas estén en buen estado y que las maniobras se efectúen normalmente.

Los inconvenientes provenientes de un mal estado del camino de rodadura, juntas defectuosas, carriles sin el necesario grado de fijación, o de mal estado de las ruedas, rueda aplanada, son imposibles de tener en cuenta con valor alguno del coeficiente de efectos dinámicos.

Tomamos del catálogo de JASO los valores de las reacciones por rueda de nuestro puente grúa:

REACCIONES POR RUEDA (kg) // REACTIONS PER WHEEL (kg)

CAPACIDAD CAPACITY	KG	LUZ GRÚA (m) CRANE SPAN (m)												
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
12.500	MAX	6.075	6.485	6.830	7.160	7.485	7.760	8.085	8.285	8.720	9.160	9.515	9.995	10.620
	MIN	1.515	1.380	1.405	1.515	1.700	1.865	2.100	2.440	2.600	2.990	3.305	3.760	4.035

Figura 36. Reacciones por rueda

Teniendo en cuenta el valor de las reacciones por rueda y el valor del coeficiente de efectos dinámicos ya podemos calcular el valor de las acciones verticales.

Para la viga:

$$V_{dmax} = \phi \cdot R_{max} = 2 \cdot 1,15 \cdot 8720 \text{ kg} = 20056 \text{ kg} = 196,75 \text{ kN}$$

$$V_{dmin} = \phi \cdot R_{min} = 2 \cdot 1,15 \cdot 2600 \text{ kg} = 5980 \text{ kg} = 58,67 \text{ kN}$$

Para los soportes:

$$V_{dmax} = \phi \cdot R_{max} = 2 \cdot 1,0 \cdot 8720 \text{ kg} = 17480 \text{ kg} = 171,48 \text{ kN}$$

$$V_{dmin} = \phi \cdot R_{min} = 2 \cdot 1,0 \cdot 2600 \text{ kg} = 5200 \text{ kg} = 51,01 \text{ kN}$$



Figura 37. Acciones verticales

6.5.3 Acciones horizontales longitudinales

La aceleración, o el frenado, del movimiento de traslación del puente conducen a la aparición de acciones longitudinales aplicadas a las cabezas de los carriles. Estas fuerzas horizontales, que las llantas de las ruedas motrices del puente ejercen sobre el carril, se calcularán en función de la aceleración, o deceleraciones máximas que se produzcan en servicio normal.

Si los valores de las aceleraciones y deceleraciones no fueran dados por el constructor de la grúa o impuestos por el usuario, se podrá fijar, a título indicativo, en función de la velocidad de movimiento y de las tres condiciones de explotación siguientes:

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

La tabla 6 recoge los valores medios de las aceleraciones y deceleraciones, para las tres condiciones de explotación.

Cuando se desconozca la velocidad de movimiento del puente, se adoptará $0,4 \text{ m/s}^2$ como valor medio de la aceleración.

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

Esta fuerza estará limitada por la adherencia entre las ruedas motrices y los carriles para que la selección del equipo sea correcta.

Para el cálculo de la viga carril y de sus vínculos a la estructura soporte se adoptará:

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

debiendo tomarse como valor del coeficiente de adherencia:

$f = 0,12$ en caminos de rodadura húmedos;

$f = 0,2$ en caminos secos.

Se considerará que la carga se halla en su posición mas elevada, y no se tendrá en cuenta su oscilación- las acciones longitudinales se considerarán repartidas por igual en los dos carriles, siempre que su valor no esté limitado por la adherencia entre rueda y carril. En caso contrario, se repartirá en dos fuerzas desiguales, de la manera siguiente:

Reacción longitudinal menor:

$$H_{l2} = f k_p \cdot \sum V_2$$

Reacción longitudinal mayor:

$$H_{l1} = \sum H_{lmax} - H_{l2}$$

siendo $\sum V_2 = \sum V_{min}$ la suma de las acciones verticales estáticas ejercidas por las ruedas de la viga testera menos cargada.

Para el cálculo de los soportes se adoptará:

$$H_l = 0,2 \cdot \sum V \cdot k_p$$

siendo $\sum V$ la suma de todas las acciones estáticas ejercidas por las ruedas de la viga testera correspondiente.

Procederemos al cálculo mediante la fórmula utilizada anteriormente:

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

donde:

Q peso de la carga nominal, $12500\text{kg} = 122,63\text{kN}$

C peso del carro y su equipo, $800\text{kg} = 7,85\text{kN}$

P peso del puente y su equipo, $10140\text{kg} = 99,47\text{kN}$

j_p aceleración media positiva o negativa del puente según la Tabla 6 “Valores medios de las aceleraciones y las deceleraciones”.

Para obtener el valor medio de la aceleración del puente introducimos en la Tabla 6 el valor de la velocidad de nuestra grúa, esto es, 20m/min = 0,33m/s. Para este valor obtendremos $j_p = 0,088\text{m/s}^2$

Tabla 6
Valores medios de las aceleraciones y deceleraciones

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

Figura 38. Tabla 6. Valores medios de las aceleraciones.

f coeficiente de adherencia de la rueda carril, 0,2 en caminos de rodadura secos.

k_p relación entre el número de ruedas motrices del puente y su número total de ruedas, en nuestro caso $2/4 = 0,5$.

Introducimos los parametros calculados en la expresión de la fuerza longitudinal y comprobamos la condición:

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

$$(122,63+7,85+99,47) \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,088}{9,81} \right) \leq (122,63+7,85+99,47) \cdot 0,2 \cdot 0,5$$

$$4,13\text{kN} \leq 23,00\text{kN}$$

Por consiguiente, se posee la capacidad para elaborar la instrucción de las sollicitaciones ejercidas por el puente grúa sobre el conjunto de la estructura.

Procedemos a continuación al cálculo de la fuerza longitudinal máxima y

mínimo:

$$H_{lmax} = V_{dmax} \cdot \frac{2jp}{g} = 171,48 \cdot \frac{2 \cdot 0,088}{9,81} = 3,08\text{kN}$$

$$H_{lmin} = V_{dmin} \cdot \frac{2jp}{g} = 51,01 \cdot \frac{2 \cdot 0,088}{9,81} = 0,92\text{kN}$$



Figura 39. Acciones horizontales longitudinales

6.5.4 Acciones horizontales transversales sobre los carriles de traslación del puente

Acciones H_c debidas a la aceleración o deceleración del carro

La aceleración, o deceleración, de movimiento de traslación del carro conduce a la aparición de acciones horizontales transversales al camino de rodadura. Estas fuerzas transversales se calcularán en función de la aceleración, deceleración, máximas que se produzcan en un servicio normal.

El valor de la aceleración media positiva o negativa es un dato que debe proporcionar el constructor de la grúa, o fijar el usuario. En caso de no ser conocido, podrán utilizarse a título indicativo los valores que se dan en la Tabla 6, para aplicaciones corrientes. Cuando se desconozca la velocidad de movimiento, se adoptará $0,2\text{m/s}^2$ como aceleración media.

Para el cálculo de la viga carril y de sus vínculos a la estructura de soporte se tomará:

$$\sum H_{cmax} = (Q + C) \cdot \left(w + \frac{2jc}{g} \right) \leq (Q + C) fkc$$

Siendo los valores del coeficiente de adherencia los mismos calculados anteriormente y considerando que la carga se encuentra en su posición más elevada.

donde:

Q peso de la carga nominal, 12500kg = 122,63kN

C peso del carro y su equipo, 800kg = 7,85kN

J_c aceleración media positiva o negativa del carro según la Tabla 6 “Valores medios de las aceleraciones y las deceleraciones”.

Para obtener el valor medio de la aceleración del carro introducimos en la Tabla 6 el valor de la velocidad de nuestro carro, esto es, 40m/min = 0,66m/s. Para este valor obtendremos $j_c = 0,098m/s^2$

Tabla 6
Valores medios de las aceleraciones y deceleraciones

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

Figura 40. Tabla 6. Valores medios de las aceleraciones.

f coeficiente de adherencia de la rueda carril, 0,2 en caminos de rodadura secos.

K_c relación entre el número de ruedas motrices del carro y su número total de ruedas, en nuestro caso $2/4 = 0,5$.

Introducimos los parametros calculados en la expresión de la fuerza longitudinal y comprobamos la condición:

$$\sum H_{cmax} = (Q + C) \cdot (w + \frac{2j_c}{g}) \leq (Q + C) f k c$$

$$(122,63 + 7,85) \cdot \left(\frac{2 \cdot 0,098}{9,81} \right) \leq (122,63 + 7,85) \cdot 0,2 \cdot 0,5$$

$$2,61\text{kN} \leq 13,05\text{kN}$$

Por consiguiente, se posee la capacidad para elaborar la instrucción de las sollicitaciones ejercidas por el puente grúa sobre el conjunto de la estructura.

$$H_{c\max} = 2,61\text{kN}$$

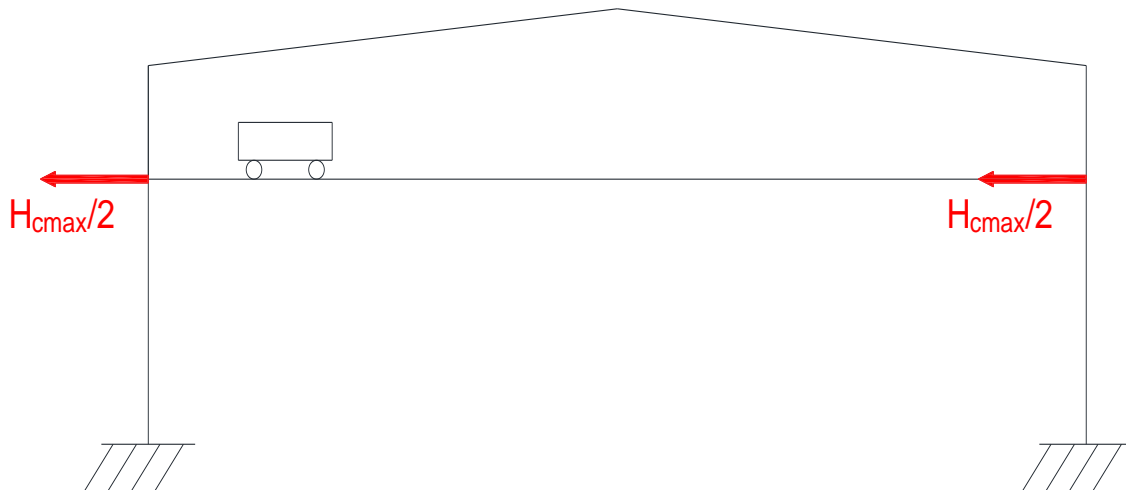


Figura 41. Acciones horizontales transversales.

6.5.5. Situaciones posibles debidas al puente grúa

Debemos considerar las dos situaciones probables del elemento estudiado para estimar con certeza las posibles consecuencias.

Se establece el movimiento de un solo elemento en cada situación. Lo que quiere decir que el carro y el puente no se encontrarán en movimiento al mismo tiempo. Cuando se produzca el movimiento del carro el puente se encontrará estacionario y viceversa.

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

- Verticales. Producidas por el peso propio de la viga carril y de las fuerzas verticales.
- Longitudinales. Producidas por la aceleración y frenado del puente grúa.

- Trasnsversales. Producidas por la aceleración y frenado del carro.

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

- Verticales. Producidas por el peso propio de la viga carril y de las fuerzas verticales.
- Trasnsversales. Producidas por la aceleración y frenado del carro.

Las fuerzas sobre el entramado lateral son:

- Longitudinales. Producidas por la aceleración y frenado del puente grúa.

A continuación se estudiarán las posibles situaciones que podrán darse:

Situación 1. Puente en movimiento y carro parado.

En este caso el carro permanecerá parado mientras el puente está en movimiento. Por lo que aparecerán cargas longitudinales debido a la aceleración y frenado del puente y las cargas verticales dinámicas de los elementos que conforman el puente grúa.



Figura 42. Situación 1

Situación 2. Puente en movimiento y carro parado.

En este caso el puente permanecerá parado mientras el carro está en movimiento. Por lo que aparecerán por una parte cargas transversales debido a la aceleración y frenado del carro y las cargas verticales dinámicas de los elementos que conforman el puente grúa.

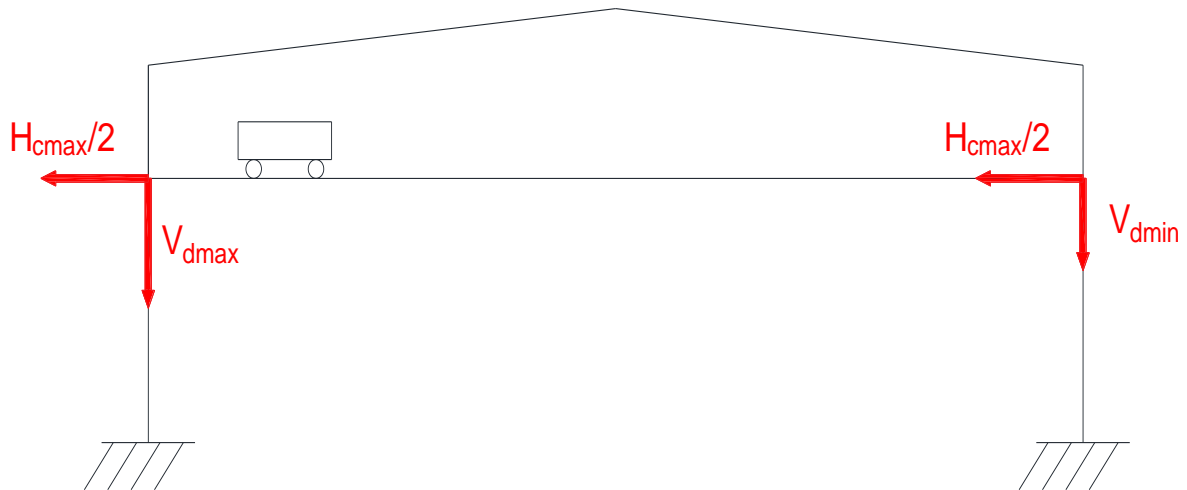


Figura 43. Situación 2

6.5.6. Cálculo de la viga carril

A la hora de calcular la viga carril, consideraremos las fuerzas verticales producidas por cada rueda del puente grúa con la carga máxima y la fuerza horizontal transversal producida por la aceleración y frenado del carro (situación 2).

La viga carril se comportará como una viga continua a lo largo de los 10 vanos de la nave, es decir, 50 m.

Por su parte la grúa será birraíl para una capacidad de 12,5 Tn, con una luz de 22 m y dispuesta a una altura de 7 m. La distancia entre ruedas de los testeros será de 3,25 m.

El coeficiente de mayoración dinámico para nuestra viga carril es de 1,15. Además, al ser la carga vertical variable, utilizaremos otro coeficiente de ponderación

de cargas para el cálculo resistente de valor 1,5.

Dimensionaremos la viga carril a flexión como una viga continua para un puente grúa que genera una carga máxima por rueda de $R_{max} = 85,54$ kN, con una distancia entre ruedas de $a = 3,25$ m y con una distancia entre apoyos de $L = 5$ m. la limitación de la flecha será de $L/1000$.

La fuerza vertical ejercida por cada rueda una vez aplicados los coeficientes de mayoración correspondientes quedarían de la siguiente forma:

$$F_{Vmax} = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 85,54 = 147,56 \text{ kN}$$

$$F_{Vmin} = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 25,51 = 44,00 \text{ kN}$$

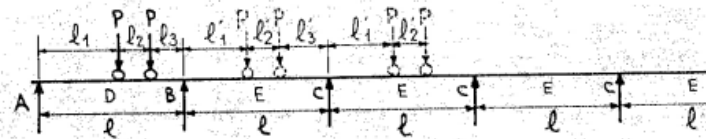
La fuerza transversal ejercida por el carro una vez aplicados los coeficientes de mayoración correspondientes quedaría de la siguiente forma:

$$F_{Htrans} = 1,5 \cdot 2,61 = 3,92 \text{ kN}$$

Momento flector

Para el análisis del mayor momento flector debido a las reacciones del puente grúa, para una viga simplemente apoyada en más de tres vanos, con dos cargas concentradas iguales y móviles, se toma como referencia la tabla de la página 46 del libro “El proyectista de estructuras metálicas”, de R. Nonnast.

Viga simplemente apoyada de más de tres vanos con dos cargas concentradas iguales y móviles (valores máximos)



$\frac{l_2}{l}$	Mf_B		Mf_C		Mf_D		Mf_E		Reacciones en los apoyos	
	l_1	Mf_B	l'_1	Mf_C	l_1	Mf_D	l'_1	Mf_E	A	B = C
0	0,578·1	0,206·P·1	0,616·1	0,172·P·1	0,437·1	0,409·P·1	0,495·1	0,345·P·1	2,000·P	2,013·P
0,05	0,552·1	0,206·P·1	0,590·1	0,172·P·1	0,417·1	0,396·P·1	0,489·1	0,321·P·1	1,937·P	2,011·P
0,10	0,525·1	0,204·P·1	0,563·1	0,171·P·1	0,407·1	0,364·P·1	0,484·1	0,299·P·1	1,874·P	2,004·P
0,15	0,497·1	0,201·P·1	0,534·1	0,168·P·1	0,398·1	0,343·P·1	0,479·1	0,279·P·1	1,811·P	1,994·P
0,20	0,469·1	0,197·P·1	0,504·1	0,164·P·1	0,389·1	0,323·P·1	0,474·1	0,261·P·1	1,749·P	1,979·P
0,25	0,439·1	0,192·P·1	0,472·1	0,159·P·1	0,380·1	0,304·P·1	0,470·1	0,243·P·1	1,687·P	1,961·P
0,30	0,408·1	0,186·P·1	0,438·1	0,153·P·1	0,372·1	0,287·P·1	0,466·1	0,226·P·1	1,627·P	1,937·P
0,35	0,375·1	0,179·P·1	0,402·1	0,147·P·1	0,366·1	0,271·P·1	0,462·1	0,212·P·1	1,568·P	1,911·P
0,40	0,342·1	0,170·P·1	0,365·1	0,139·P·1	0,361·1	0,256·P·1	0,458·1	0,200·P·1	1,510·P	1,881·P
0,45	0,307·1	0,161·P·1	0,323·1	0,129·P·1	0,357·1	0,242·P·1	0,455·1	0,190·P·1	1,454·P	1,847·P
0,50	0,275·1	0,160·P·1	0,278·1	0,123·P·1	0,351·1	0,229·P·1	0,453·1	0,180·P·1	1,399·P	1,810·P
0,55	0,240·1	0,167·P·1	0,223·1	0,116·P·1	0,345·1	0,218·P·1	0,450·1	0,172·P·1	1,347·P	1,771·P
0,60	0,205·1	0,172·P·1	0,168·1	0,108·P·1	0,348·1	0,208·P·1	0,448·1	0,165·P·1	1,297·P	1,728·P
0,65	0,171·1	0,176·P·1	0,114·1	0,100·P·1	0,350·1	0,199·P·1	0,446·1	0,159·P·1	1,249·P	1,683·P
0,70	0,137·1	0,180·P·1	0,061·1	0,092·P·1	0,354·1	0,191·P·1	0,444·1	0,155·P·1	1,204·P	1,633·P
0,75	0,103·1	0,181·P·1	0,008·1	0,084·P·1	0,357·1	0,185·P·1	0,441·1	0,151·P·1	1,162·P	1,583·P
0,80	0,069·1	0,182·P·1	-0,045·1	0,076·P·1	0,361·1	0,180·P·1	0,438·1	0,148·P·1	1,123·P	1,529·P
0,85	0,035·1	0,181·P·1	-0,092·1	0,068·P·1	0,368·1	0,177·P·1	0,434·1	0,146·P·1	1,087·P	1,474·P
0,90	0,001·1	0,180·P·1	-0,139·1	0,060·P·1	0,374·1	0,174·P·1	0,431·1	0,145·P·1	1,054·P	1,417·P
0,95	-0,034·1	0,178·P·1	-0,186·1	0,052·P·1	0,386·1	0,173·P·1	0,428·1	0,145·P·1	1,025·P	1,358·P
1,00	-0,070·1	0,174·P·1	-0,233·1	0,044·P·1	0,392·1	0,173·P·1	0,420·1	0,145·P·1	1,000·P	1,297·P

Figura 44. Tabla de momentos flectores.

Se observa en la tabla que la peor situación para la viga carril se da cuando la grúa puente se sitúa entre el primer y el segundo vano, en el apoyo B.

Teniendo en cuenta que:

- $L_2 = LR = 3,25$ m
- $L =$ distancia entre pórticos = 5 m

Obtenemos para la zona B:

- $L_2/LR = 3,25/5 = 0,65$
- $L_1 = 0,651 \cdot L = 0,651 \cdot 5 = 3,26$ m
- $Mf_B = 0,176 \cdot P \cdot L = 0,176 \cdot 147,56 \cdot 5 = 129,85$ kNm

Flecha máxima

A continuación se van a indicar las flechas máximas admisibles:

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

Flecha máxima vertical

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

$$F_{Vadm} = L/750 = 5000/750 = 6,67 \text{ mm}$$

Flecha máxima horizontal

En este caso solo tendremos en cuenta la carga producida por el movimiento de aceleración y deceleración del carro.

$$F_{Hadm} = L/1000 = 5000/1000 = 5 \text{ mm}$$

Pandeo lateral

De acuerdo con el CTE-SE-A, no será necesaria la comprobación a pandeo lateral cuando el ala comprimida se arriostra de forma continua o bien de forma puntual a distancias menores de 40 veces el radio de giro mínimo.

Procederemos a colocar rigidizadores en los apoyos y en el centro de vano, lo que es decir, cada 2,5 m, para quedar del lado de la seguridad y prevenir de esta manera el pandeo lateral.

Para el cálculo de la viga carril se ha realizado un estudio con el programa CRANEWAY 8.25, el cual permite:

- Análisis de tensiones para puentes grúa y soldaduras.
- Análisis a fatiga para puentes grúa y soldaduras.
- Análisis de deformaciones.
- Cálculo de abolladura para la introducción de cargas en ruedas.
- Análisis de estabilidad para pandeo lateral según la teoría de pandeo lateral de 2º orden (MEF de elemento 1D)

Este programa realiza el cálculo de vigas carril para puentes grúa según las normas EN 1993-6, DIN 4132 y DIN 18800.

Hemos seleccionado un perfil HEB 300 para la viga carril que llevará soldado

un un cuadradillo de 50 x 50 para el carril. El material del acero será S 275 JR.

Propiedades de la sección:

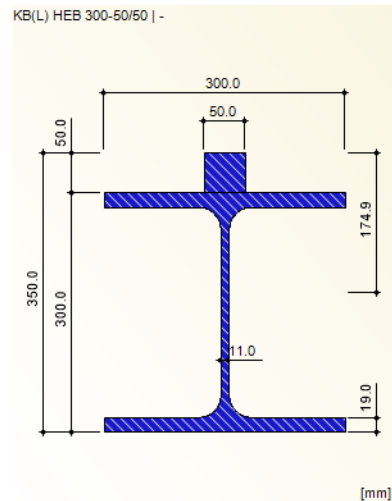


Figura 45. Perfil HEB 300 con cuadradillo 50 x 50.

Propiedad de la sección	Símbolo	Valor	Unidad
Canto	h	300.0	mm
Ancho	b	300.0	mm
Espesor de alma	t _w	11.0	mm
Espesor del ala	t _f	19.0	mm
Radio de empalme de raíz	r	27.0	mm
Canto entre alas	h _i	262.0	mm
Canto del alma recta	d	208.0	mm
Área de la sección	A	149.10	cm ²
Área a cortante	A _y	94.97	cm ²
Área a cortante	A _z	28.65	cm ²
Área a cortante según EC 3	A _{v,y}	118.18	cm ²
Área a cortante según EC 3	A _{v,z}	47.45	cm ²
Área plástica a cortante	A _{pl,y}	114.00	cm ²
Área plástica a cortante	A _{pl,z}	30.91	cm ²
Momento de inercia	I _y	25170.00	cm ⁴
Momento de inercia	I _z	8563.00	cm ⁴
Radio de giro determinante	i _y	129.9	mm
Radio de giro determinante	i _z	75.8	mm
Radio de giro polar	i _p	150.4	mm
Radio de giro del ala con 1/5 del área del ala	i _{zg}	80.6	mm
Volumen	V	14910.00	cm ³ /m
Peso	p	117.0	kg/m
Superficie	A _{superf}	1.730	m ² /m
Factor de sección	A _m /V	116.030	1/m
Módulo de torsión	I _t	185.00	cm ⁴
Constante de alabeo	I _ω	1.688E+06	cm ⁶
Módulo resistente elástico	W _y	1678.00	cm ³
Módulo resistente elástico	W _z	570.90	cm ³
Módulo resistente de alabeo	W _w	8009.49	cm ⁴
Momento estático	S _{y,max}	934.50	cm ³
Momento estático	S _{z,max}	213.75	cm ³
Constante de alabeo normalizado	ω _{max}	210.75	cm ²
Momento estático de alabeo	S _{ω,max}	3003.19	cm ⁴
Módulo resistente plástico	W _{pl,y}	1869.00	cm ³
Módulo resistente plástico	W _{pl,z}	870.10	cm ³
Módulo resistente plástico de alabeo	W _{pl,ω}	12012.80	cm ⁴
Factor de forma plástica	α _{pl,y}	1.114	
Factor de forma plástica	α _{pl,z}	1.524	
Factor de forma plástica	α _{pl,ω}	1.500	
Curva de pandeo (DIN 18800-2:2008-11)	CP _{y,DIN}	b	
Curva de pandeo (DIN 18800-2:2008-11)	CP _{y,DIN}	c	
Curva de pandeo para acero con f _y >=461	CP _{y,DIN,S4}	a	
Curva de pandeo para acero con f _y >=461	CP _{z,DIN,S4}	b	
Curva de pandeo según EN	CP _{y,EN}	b	
Curva de pandeo según EN	CP _{z,EN}	c	
Curva de pandeo según EN para acero S 4	CP _{y,EN,S4}	a	
Curva de pandeo según EN para acero S 4	CP _{z,EN,S4}	a	

Propiedades del material:

Propiedades del material		Acero S 275 JR EN 10025-2:2004-11	
<input type="checkbox"/> Propiedades principales			
<input type="checkbox"/> Módulo de elasticidad	E	21000.00	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Módulo de cortante	G	8076.92	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Coeficiente de Poisson	ν	0.300	
<input type="checkbox"/> Peso específico	γ	78.50	kN/m ³
<input type="checkbox"/> Coeficiente de dilatación térmica	α	1.2000E-05	1/°C
<input type="checkbox"/> Propiedades adicionales			
<input type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t \leq 3.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	27.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	43.00	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 3.0$ mm y $t \leq 16.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	27.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	41.00	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 16.0$ mm y $t \leq 40.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	26.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	41.00	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 40.0$ mm y $t \leq 63.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	25.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	41.00	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 63.0$ mm y $t \leq 80.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	24.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	41.00	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 80.0$ mm y $t \leq 100.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	23.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	41.00	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 100.0$ mm y $t \leq 150.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	22.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	40.00	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 150.0$ mm y $t \leq 200.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	21.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	38.00	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Intervalos de espesor $t > 200.0$ mm y $t \leq 250.0$ mm			
<input type="checkbox"/> Límite elástico	f_y	20.50	kN/cm ²
<input type="checkbox"/> Resistencia última a tracción	f_u	38.00	kN/cm ²

Normativa:

Parámetros del Anejo Nacional - EN 1993-6:2007/AC:2009-07

Anejo original: CEN Descripción: Unión Europea

Coefficientes

Coefficientes parciales de seguridad para

- Resistencia de secciones: γ_{M0} : 1.00
- La resistencia de barras al fallo de estabilidad (cálculo de barras), así como la resistencia de secciones al fallo de estabilidad (cálculo de secciones según la teoría de segundo orden): γ_{M1} : 1.00
- Resistencia de soldadura: γ_{Mw} : 1.25
- Resistencia a la fatiga: $\gamma_{M,f}$: 1.15
- Acciones permanentes: γ_G : 1.35
- Acciones variables, grúa: γ_Q : 1.35
- Acciones variables, otras: γ_{Qo} : 1.50
- Acciones de fatiga: $\gamma_{F,f}$: 1.00

Factor de combinación: ψ : 1.00

Coefficiente para resistencia a cortante: η : 1.20

Apoyos:

1.2 Geometría

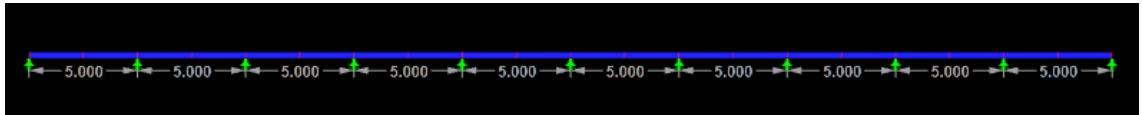
Longitud total de la viga:
L: 50.000 [m]

Apoyos | Constantes elásticas | Articulaciones | Rigidizadores

Apoyo núm.	A Posición x [m]	B Tipo de apoyo	C Desplazamiento en			G Giro en			I Alabeo	J Liberación	K Rigidizador	L Apoyo Longitud a [mm]
			X	Y	Z	X	Y	Z				
1	0.000	Articulado fijo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido	
2	5.000	Articulado móvil	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido	
3	10.000	Articulado móvil	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido	
4	15.000	Articulado móvil	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido	
5	20.000	Articulado móvil	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido	
6	25.000	Articulado móvil	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido	
7	30.000	Articulado móvil	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido	
8	35.000	Articulado móvil	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido	
9	40.000	Articulado móvil	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido	
10	45.000	Articulado móvil	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido	
11	50.000	Articulado fijo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Rígido	

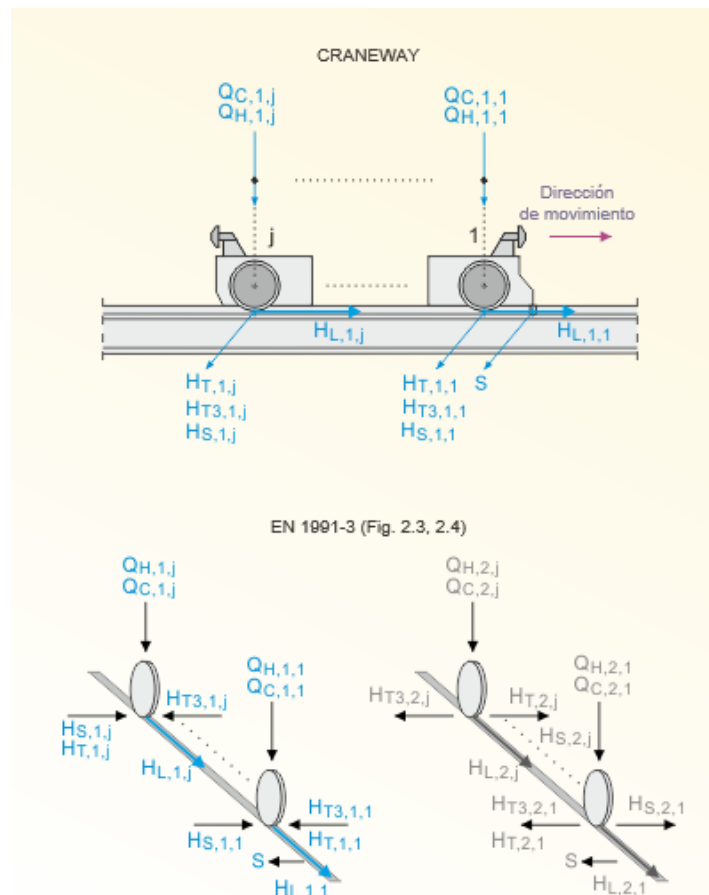
Rigidizadores:

Vano núm.	A	B	C
	Longitud L [m]	Número de paneles int.	Tipo de posición
1	5.000	2	Regulamente
2	5.000	2	Regulamente
3	5.000	2	Regulamente
4	5.000	2	Regulamente
5	5.000	2	Regulamente
6	5.000	2	Regulamente
7	5.000	2	Regulamente
8	5.000	2	Regulamente
9	5.000	2	Regulamente
10	5.000	2	Regulamente



Parámetros de la grúa puente:

Parámetros de grúa		
☐ Tope de grúa izquierdo	aL	0.330 m
☐ Tope de grúa derecho	aR	0.330 m
☐ Cojinete de la grúa		
☐ Número de cojinetes	nA	2
☐ Distancia al centro	a1	3.250 m
☐ Cargas de grúa		
☐ Ambas vigas (W-max y W-min)		<input type="checkbox"/>
☐ Viga con W-max		
☐ Cojinete	iA	1
☐ Distancia de la fuerza oblicua	e	0.000 m
☐ Fuerza oblicua	S	0.00 kN
☐ Cargas verticales por rueda	QC,1,1	147.56 kN
☐ Cargas verticales por rueda	QH,1,1	44.00 kN
☐ Cargas horizontales por rueda	HT,1,1	0.00 kN
☐ Cargas horizontales por rueda	Hs,1,1	0.00 kN
☐ Cargas horizontales por rueda	HT3,1,1	1.96 kN
☐ Carga longitudinal	HL,1,1	2.31 kN
☐ Cargas verticales por rueda	QC,1,2	147.56 kN
☐ Cargas verticales por rueda	QH,1,2	44.00 kN
☐ Cargas horizontales por rueda	HT,1,2	0.00 kN
☐ Cargas horizontales por rueda	Hs,1,2	0.00 kN
☐ Cargas horizontales por rueda	HT3,1,2	1.96 kN
☐ Carga longitudinal	HL,1,2	2.31 kN



Cargas:

Cargas de grúa						
Viga i = 1 (W-max)						
Cojinete j	Cargas vert. por rueda		Cargas horizontales por rueda			Cargas long. H _L [kN]
	Q _{C,i,j} [kN]	Q _{H,i,j} [kN]	H _{T,i,j} [kN]	H _{S,i,j} [kN]	H _{T3,i,j} [kN]	
1	147.56	44.00	0.00	0.00	1.96	2.31
2	147.56	44.00	0.00	0.00	1.96	2.31

Casos de carga (resistencia):

Casos de carga	
A	B
CC núm.	Descripción
CC1	Peso propio + Carga permanente adicional
CC2	Cargas variables adicionales
CC11	Q _C
CC12	Q _C φ ₁
CC13	Q _C φ ₄
CC14	Q _H max(φ ₂ , φ ₃)
CC15	Q _H φ ₄
CC16	H _T φ ₅ + H _L φ ₅
CC17	(H _S + S)
CC18	H _{T3}

Casos de carga (fatiga):

A	B
CC núm.	Descripción
CC1	Peso propio + Carga permanente adicional
CC2,4...	Q _C (1 + φ ₁)/2
CC3,5...	Q _H (1 + φ ₂)/2

Combinaciones de carga (resistencia):

A	B	C	D	E	F
CO núm.	Viga	Posición de 1ª rueda de grúa [m]			Descripción de la carga
		Grúa 1	Grúa 2	Grúa 3	
CO1					γ _G CC1
CO2	Max	3.780			γ _G (CC1 + CC4) + γ _Q (CC6 + CC8) + γ _{Q0} CC2
CO3	Max	3.780			γ _G (CC1 + CC3) + γ _Q CC8 + γ _{Q0} CC2
CO4	Max	3.780			γ _G (CC1 + CC5) + γ _Q (CC7 + CC8) + γ _{Q0} CC2
CO5	Max	3.780			γ _G (CC1 + CC5) + γ _Q (CC7 + CC9) + γ _{Q0} CC2
CO6	Max	3.780			γ _G (CC1 + CC5) + γ _Q (CC7 + CC10)
CO7	Max	4.780			γ _G (CC1 + CC12) + γ _Q (CC14 + CC16) + γ _{Q0} CC2
CO8	Max	4.780			γ _G (CC1 + CC11) + γ _Q CC16 + γ _{Q0} CC2
CO9	Max	4.780			γ _G (CC1 + CC13) + γ _Q (CC15 + CC16) + γ _{Q0} CC2
CO10	Max	4.780			γ _G (CC1 + CC13) + γ _Q (CC15 + CC17) + γ _{Q0} CC2
CO11	Max	4.780			γ _G (CC1 + CC13) + γ _Q (CC15 + CC18)

CO12	Max	5.780			$\gamma_G (CC1 + CC20) + \gamma_Q (CC22 + CC24) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO13	Max	5.780			$\gamma_G (CC1 + CC19) + \gamma_Q CC24 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO14	Max	5.780			$\gamma_G (CC1 + CC21) + \gamma_Q (CC23 + CC24) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO15	Max	5.780			$\gamma_G (CC1 + CC21) + \gamma_Q (CC23 + CC25) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO16	Max	5.780			$\gamma_G (CC1 + CC21) + \gamma_Q (CC23 + CC26)$
CO17	Max	6.780			$\gamma_G (CC1 + CC28) + \gamma_Q (CC30 + CC32) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO18	Max	6.780			$\gamma_G (CC1 + CC27) + \gamma_Q CC32 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO19	Max	6.780			$\gamma_G (CC1 + CC29) + \gamma_Q (CC31 + CC32) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO20	Max	6.780			$\gamma_G (CC1 + CC29) + \gamma_Q (CC31 + CC33) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO21	Max	6.780			$\gamma_G (CC1 + CC29) + \gamma_Q (CC31 + CC34)$
CO22	Max	7.780			$\gamma_G (CC1 + CC36) + \gamma_Q (CC38 + CC40) + \gamma_{Q_0} CC2$

CO23	Max	7.780			$\gamma_G (CC1 + CC35) + \gamma_Q CC40 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO24	Max	7.780			$\gamma_G (CC1 + CC37) + \gamma_Q (CC39 + CC40) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO25	Max	7.780			$\gamma_G (CC1 + CC37) + \gamma_Q (CC39 + CC41) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO26	Max	7.780			$\gamma_G (CC1 + CC37) + \gamma_Q (CC39 + CC42)$
CO27	Max	8.780			$\gamma_G (CC1 + CC44) + \gamma_Q (CC46 + CC48) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO28	Max	8.780			$\gamma_G (CC1 + CC43) + \gamma_Q CC48 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO29	Max	8.780			$\gamma_G (CC1 + CC45) + \gamma_Q (CC47 + CC48) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO30	Max	8.780			$\gamma_G (CC1 + CC45) + \gamma_Q (CC47 + CC49) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO31	Max	8.780			$\gamma_G (CC1 + CC45) + \gamma_Q (CC47 + CC50)$
CO32	Max	9.780			$\gamma_G (CC1 + CC52) + \gamma_Q (CC54 + CC56) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO33	Max	9.780			$\gamma_G (CC1 + CC51) + \gamma_Q CC56 + \gamma_{Q_0} CC2$

CO34	Max	9.780			$\gamma_G (CC1 + CC53) + \gamma_Q (CC55 + CC56) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO35	Max	9.780			$\gamma_G (CC1 + CC53) + \gamma_Q (CC55 + CC57) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO36	Max	9.780			$\gamma_G (CC1 + CC53) + \gamma_Q (CC55 + CC58)$
CO37	Max	10.780			$\gamma_G (CC1 + CC60) + \gamma_Q (CC62 + CC64) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO38	Max	10.780			$\gamma_G (CC1 + CC59) + \gamma_Q CC64 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO39	Max	10.780			$\gamma_G (CC1 + CC61) + \gamma_Q (CC63 + CC64) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO40	Max	10.780			$\gamma_G (CC1 + CC61) + \gamma_Q (CC63 + CC65) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO41	Max	10.780			$\gamma_G (CC1 + CC61) + \gamma_Q (CC63 + CC66)$
CO42	Max	11.780			$\gamma_G (CC1 + CC68) + \gamma_Q (CC70 + CC72) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO43	Max	11.780			$\gamma_G (CC1 + CC67) + \gamma_Q CC72 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO44	Max	11.780			$\gamma_G (CC1 + CC69) + \gamma_Q (CC71 + CC72) + \gamma_{Q_0} CC2$

CO45	Max	11.780			$\gamma_G (CC1 + CC69) + \gamma_Q (CC71 + CC73) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO46	Max	11.780			$\gamma_G (CC1 + CC69) + \gamma_Q (CC71 + CC74)$
CO47	Max	12.780			$\gamma_G (CC1 + CC76) + \gamma_Q (CC78 + CC80) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO48	Max	12.780			$\gamma_G (CC1 + CC75) + \gamma_Q CC80 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO49	Max	12.780			$\gamma_G (CC1 + CC77) + \gamma_Q (CC79 + CC80) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO50	Max	12.780			$\gamma_G (CC1 + CC77) + \gamma_Q (CC79 + CC81) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO51	Max	12.780			$\gamma_G (CC1 + CC77) + \gamma_Q (CC79 + CC82)$
CO52	Max	13.780			$\gamma_G (CC1 + CC84) + \gamma_Q (CC86 + CC88) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO53	Max	13.780			$\gamma_G (CC1 + CC83) + \gamma_Q CC88 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO54	Max	13.780			$\gamma_G (CC1 + CC85) + \gamma_Q (CC87 + CC88) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO55	Max	13.780			$\gamma_G (CC1 + CC85) + \gamma_Q (CC87 + CC89) + \gamma_{Q_0} CC2$

CO56	Max	13.780			$\gamma_G (CC1 + CC85) + \gamma_Q (CC87 + CC90)$
CO57	Max	14.780			$\gamma_G (CC1 + CC92) + \gamma_Q (CC94 + CC96) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO58	Max	14.780			$\gamma_G (CC1 + CC91) + \gamma_Q CC96 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO59	Max	14.780			$\gamma_G (CC1 + CC93) + \gamma_Q (CC95 + CC96) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO60	Max	14.780			$\gamma_G (CC1 + CC93) + \gamma_Q (CC95 + CC97) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO61	Max	14.780			$\gamma_G (CC1 + CC93) + \gamma_Q (CC95 + CC98)$
CO62	Max	15.780			$\gamma_G (CC1 + CC100) + \gamma_Q (CC102 + CC104) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO63	Max	15.780			$\gamma_G (CC1 + CC99) + \gamma_Q CC104 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO64	Max	15.780			$\gamma_G (CC1 + CC101) + \gamma_Q (CC103 + CC104) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO65	Max	15.780			$\gamma_G (CC1 + CC101) + \gamma_Q (CC103 + CC105) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO66	Max	15.780			$\gamma_G (CC1 + CC101) + \gamma_Q (CC103 + CC106)$

CO67	Max	16.780			$\gamma_G (CC1 + CC108) + \gamma_Q (CC110 + CC112) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO68	Max	16.780			$\gamma_G (CC1 + CC107) + \gamma_Q CC112 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO69	Max	16.780			$\gamma_G (CC1 + CC109) + \gamma_Q (CC111 + CC112) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO70	Max	16.780			$\gamma_G (CC1 + CC109) + \gamma_Q (CC111 + CC113) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO71	Max	16.780			$\gamma_G (CC1 + CC109) + \gamma_Q (CC111 + CC114)$
CO72	Max	17.780			$\gamma_G (CC1 + CC116) + \gamma_Q (CC118 + CC120) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO73	Max	17.780			$\gamma_G (CC1 + CC115) + \gamma_Q CC120 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO74	Max	17.780			$\gamma_G (CC1 + CC117) + \gamma_Q (CC119 + CC120) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO75	Max	17.780			$\gamma_G (CC1 + CC117) + \gamma_Q (CC119 + CC121) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO76	Max	17.780			$\gamma_G (CC1 + CC117) + \gamma_Q (CC119 + CC122)$
CO77	Max	18.780			$\gamma_G (CC1 + CC124) + \gamma_Q (CC126 + CC128) + \gamma_{Q_0} CC2$

CO78	Max	18.780			$\gamma_G (CC1 + CC123) + \gamma_Q CC128 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO79	Max	18.780			$\gamma_G (CC1 + CC125) + \gamma_Q (CC127 + CC128) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO80	Max	18.780			$\gamma_G (CC1 + CC125) + \gamma_Q (CC127 + CC129) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO81	Max	18.780			$\gamma_G (CC1 + CC125) + \gamma_Q (CC127 + CC130)$
CO82	Max	19.780			$\gamma_G (CC1 + CC132) + \gamma_Q (CC134 + CC136) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO83	Max	19.780			$\gamma_G (CC1 + CC131) + \gamma_Q CC136 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO84	Max	19.780			$\gamma_G (CC1 + CC133) + \gamma_Q (CC135 + CC136) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO85	Max	19.780			$\gamma_G (CC1 + CC133) + \gamma_Q (CC135 + CC137) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO86	Max	19.780			$\gamma_G (CC1 + CC133) + \gamma_Q (CC135 + CC138)$
CO87	Max	20.780			$\gamma_G (CC1 + CC140) + \gamma_Q (CC142 + CC144) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO88	Max	20.780			$\gamma_G (CC1 + CC139) + \gamma_Q CC144 + \gamma_{Q_0} CC2$

CO89	Max	20.780			$\gamma_G (CC1 + CC141) + \gamma_Q (CC143 + CC144) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO90	Max	20.780			$\gamma_G (CC1 + CC141) + \gamma_Q (CC143 + CC145) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO91	Max	20.780			$\gamma_G (CC1 + CC141) + \gamma_Q (CC143 + CC146)$
CO92	Max	21.780			$\gamma_G (CC1 + CC148) + \gamma_Q (CC150 + CC152) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO93	Max	21.780			$\gamma_G (CC1 + CC147) + \gamma_Q CC152 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO94	Max	21.780			$\gamma_G (CC1 + CC149) + \gamma_Q (CC151 + CC152) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO95	Max	21.780			$\gamma_G (CC1 + CC149) + \gamma_Q (CC151 + CC153) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO96	Max	21.780			$\gamma_G (CC1 + CC149) + \gamma_Q (CC151 + CC154)$
CO97	Max	22.780			$\gamma_G (CC1 + CC156) + \gamma_Q (CC158 + CC160) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO98	Max	22.780			$\gamma_G (CC1 + CC155) + \gamma_Q CC160 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO99	Max	22.780			$\gamma_G (CC1 + CC157) + \gamma_Q (CC159 + CC160) + \gamma_{Q_0} CC2$

CO100	Max	22.780			$\gamma_G (CC1 + CC157) + \gamma_Q (CC159 + CC161) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO101	Max	22.780			$\gamma_G (CC1 + CC157) + \gamma_Q (CC159 + CC162)$
CO102	Max	23.780			$\gamma_G (CC1 + CC164) + \gamma_Q (CC166 + CC168) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO103	Max	23.780			$\gamma_G (CC1 + CC163) + \gamma_Q CC168 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO104	Max	23.780			$\gamma_G (CC1 + CC165) + \gamma_Q (CC167 + CC168) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO105	Max	23.780			$\gamma_G (CC1 + CC165) + \gamma_Q (CC167 + CC169) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO106	Max	23.780			$\gamma_G (CC1 + CC165) + \gamma_Q (CC167 + CC170)$
CO107	Max	24.780			$\gamma_G (CC1 + CC172) + \gamma_Q (CC174 + CC176) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO108	Max	24.780			$\gamma_G (CC1 + CC171) + \gamma_Q CC176 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO109	Max	24.780			$\gamma_G (CC1 + CC173) + \gamma_Q (CC175 + CC176) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO110	Max	24.780			$\gamma_G (CC1 + CC173) + \gamma_Q (CC175 + CC177) + \gamma_{Q_0} CC2$

CO111	Max	24.780			$\gamma_G (CC1 + CC173) + \gamma_Q (CC175 + CC178)$
CO112	Max	25.780			$\gamma_G (CC1 + CC180) + \gamma_Q (CC182 + CC184) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO113	Max	25.780			$\gamma_G (CC1 + CC179) + \gamma_Q CC184 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO114	Max	25.780			$\gamma_G (CC1 + CC181) + \gamma_Q (CC183 + CC184) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO115	Max	25.780			$\gamma_G (CC1 + CC181) + \gamma_Q (CC183 + CC185) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO116	Max	25.780			$\gamma_G (CC1 + CC181) + \gamma_Q (CC183 + CC186)$
CO117	Max	26.780			$\gamma_G (CC1 + CC188) + \gamma_Q (CC190 + CC192) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO118	Max	26.780			$\gamma_G (CC1 + CC187) + \gamma_Q CC192 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO119	Max	26.780			$\gamma_G (CC1 + CC189) + \gamma_Q (CC191 + CC192) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO120	Max	26.780			$\gamma_G (CC1 + CC189) + \gamma_Q (CC191 + CC193) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO121	Max	26.780			$\gamma_G (CC1 + CC189) + \gamma_Q (CC191 + CC194)$

CO122	Max	27.780			$\gamma_G (CC1 + CC196) + \gamma_Q (CC198 + CC200) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO123	Max	27.780			$\gamma_G (CC1 + CC195) + \gamma_Q CC200 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO124	Max	27.780			$\gamma_G (CC1 + CC197) + \gamma_Q (CC199 + CC200) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO125	Max	27.780			$\gamma_G (CC1 + CC197) + \gamma_Q (CC199 + CC201) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO126	Max	27.780			$\gamma_G (CC1 + CC197) + \gamma_Q (CC199 + CC202)$
CO127	Max	28.780			$\gamma_G (CC1 + CC204) + \gamma_Q (CC206 + CC208) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO128	Max	28.780			$\gamma_G (CC1 + CC203) + \gamma_Q CC208 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO129	Max	28.780			$\gamma_G (CC1 + CC205) + \gamma_Q (CC207 + CC208) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO130	Max	28.780			$\gamma_G (CC1 + CC205) + \gamma_Q (CC207 + CC209) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO131	Max	28.780			$\gamma_G (CC1 + CC205) + \gamma_Q (CC207 + CC210)$
CO132	Max	29.780			$\gamma_G (CC1 + CC212) + \gamma_Q (CC214 + CC216) + \gamma_{Q_0} CC2$

CO133	Max	29.780			$\gamma_G (CC1 + CC211) + \gamma_Q CC216 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO134	Max	29.780			$\gamma_G (CC1 + CC213) + \gamma_Q (CC215 + CC216) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO135	Max	29.780			$\gamma_G (CC1 + CC213) + \gamma_Q (CC215 + CC217) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO136	Max	29.780			$\gamma_G (CC1 + CC213) + \gamma_Q (CC215 + CC218)$
CO137	Max	30.780			$\gamma_G (CC1 + CC220) + \gamma_Q (CC222 + CC224) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO138	Max	30.780			$\gamma_G (CC1 + CC219) + \gamma_Q CC224 + \gamma_{Q_0} CC2$
CO139	Max	30.780			$\gamma_G (CC1 + CC221) + \gamma_Q (CC223 + CC224) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO140	Max	30.780			$\gamma_G (CC1 + CC221) + \gamma_Q (CC223 + CC225) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO141	Max	30.780			$\gamma_G (CC1 + CC221) + \gamma_Q (CC223 + CC226)$
CO142	Max	31.780			$\gamma_G (CC1 + CC228) + \gamma_Q (CC230 + CC232) + \gamma_{Q_0} CC2$
CO143	Max	31.780			$\gamma_G (CC1 + CC227) + \gamma_Q CC232 + \gamma_{Q_0} CC2$

CO144	Max	31.780			$\gamma_G (CC1 + CC229) + \gamma_Q (CC231 + CC232) + \gamma_{Qo} CC2$
CO145	Max	31.780			$\gamma_G (CC1 + CC229) + \gamma_Q (CC231 + CC233) + \gamma_{Qo} CC2$
CO146	Max	31.780			$\gamma_G (CC1 + CC229) + \gamma_Q (CC231 + CC234)$
CO147	Max	32.780			$\gamma_G (CC1 + CC236) + \gamma_Q (CC238 + CC240) + \gamma_{Qo} CC2$
CO148	Max	32.780			$\gamma_G (CC1 + CC235) + \gamma_Q CC240 + \gamma_{Qo} CC2$
CO149	Max	32.780			$\gamma_G (CC1 + CC237) + \gamma_Q (CC239 + CC240) + \gamma_{Qo} CC2$
CO150	Max	32.780			$\gamma_G (CC1 + CC237) + \gamma_Q (CC239 + CC241) + \gamma_{Qo} CC2$
CO151	Max	32.780			$\gamma_G (CC1 + CC237) + \gamma_Q (CC239 + CC242)$
CO152	Max	33.780			$\gamma_G (CC1 + CC244) + \gamma_Q (CC246 + CC248) + \gamma_{Qo} CC2$
CO153	Max	33.780			$\gamma_G (CC1 + CC243) + \gamma_Q CC248 + \gamma_{Qo} CC2$
CO154	Max	33.780			$\gamma_G (CC1 + CC245) + \gamma_Q (CC247 + CC248) + \gamma_{Qo} CC2$

CO155	Max	33.780			$\gamma_G (CC1 + CC245) + \gamma_Q (CC247 + CC249) + \gamma_{Qo} CC2$
CO156	Max	33.780			$\gamma_G (CC1 + CC245) + \gamma_Q (CC247 + CC250)$
CO157	Max	34.780			$\gamma_G (CC1 + CC252) + \gamma_Q (CC254 + CC256) + \gamma_{Qo} CC2$
CO158	Max	34.780			$\gamma_G (CC1 + CC251) + \gamma_Q CC256 + \gamma_{Qo} CC2$
CO159	Max	34.780			$\gamma_G (CC1 + CC253) + \gamma_Q (CC255 + CC256) + \gamma_{Qo} CC2$
CO160	Max	34.780			$\gamma_G (CC1 + CC253) + \gamma_Q (CC255 + CC257) + \gamma_{Qo} CC2$
CO161	Max	34.780			$\gamma_G (CC1 + CC253) + \gamma_Q (CC255 + CC258)$
CO162	Max	35.780			$\gamma_G (CC1 + CC260) + \gamma_Q (CC262 + CC264) + \gamma_{Qo} CC2$
CO163	Max	35.780			$\gamma_G (CC1 + CC259) + \gamma_Q CC264 + \gamma_{Qo} CC2$
CO164	Max	35.780			$\gamma_G (CC1 + CC261) + \gamma_Q (CC263 + CC264) + \gamma_{Qo} CC2$
CO165	Max	35.780			$\gamma_G (CC1 + CC261) + \gamma_Q (CC263 + CC265) + \gamma_{Qo} CC2$

CO166	Max	35.780			$\gamma_G (CC1 + CC261) + \gamma_Q (CC263 + CC266)$
CO167	Max	36.780			$\gamma_G (CC1 + CC268) + \gamma_Q (CC270 + CC272) + \gamma_{Qo} CC2$
CO168	Max	36.780			$\gamma_G (CC1 + CC267) + \gamma_Q CC272 + \gamma_{Qo} CC2$
CO169	Max	36.780			$\gamma_G (CC1 + CC269) + \gamma_Q (CC271 + CC272) + \gamma_{Qo} CC2$
CO170	Max	36.780			$\gamma_G (CC1 + CC269) + \gamma_Q (CC271 + CC273) + \gamma_{Qo} CC2$
CO171	Max	36.780			$\gamma_G (CC1 + CC269) + \gamma_Q (CC271 + CC274)$
CO172	Max	37.780			$\gamma_G (CC1 + CC276) + \gamma_Q (CC278 + CC280) + \gamma_{Qo} CC2$
CO173	Max	37.780			$\gamma_G (CC1 + CC275) + \gamma_Q CC280 + \gamma_{Qo} CC2$
CO174	Max	37.780			$\gamma_G (CC1 + CC277) + \gamma_Q (CC279 + CC280) + \gamma_{Qo} CC2$
CO175	Max	37.780			$\gamma_G (CC1 + CC277) + \gamma_Q (CC279 + CC281) + \gamma_{Qo} CC2$
CO176	Max	37.780			$\gamma_G (CC1 + CC277) + \gamma_Q (CC279 + CC282)$

CO177	Max	38.780			$\gamma_G (CC1 + CC284) + \gamma_Q (CC286 + CC288) + \gamma_{Qo} CC2$
CO178	Max	38.780			$\gamma_G (CC1 + CC283) + \gamma_Q CC288 + \gamma_{Qo} CC2$
CO179	Max	38.780			$\gamma_G (CC1 + CC285) + \gamma_Q (CC287 + CC288) + \gamma_{Qo} CC2$
CO180	Max	38.780			$\gamma_G (CC1 + CC285) + \gamma_Q (CC287 + CC289) + \gamma_{Qo} CC2$
CO181	Max	38.780			$\gamma_G (CC1 + CC285) + \gamma_Q (CC287 + CC290)$
CO182	Max	39.780			$\gamma_G (CC1 + CC292) + \gamma_Q (CC294 + CC296) + \gamma_{Qo} CC2$
CO183	Max	39.780			$\gamma_G (CC1 + CC291) + \gamma_Q CC296 + \gamma_{Qo} CC2$
CO184	Max	39.780			$\gamma_G (CC1 + CC293) + \gamma_Q (CC295 + CC296) + \gamma_{Qo} CC2$
CO185	Max	39.780			$\gamma_G (CC1 + CC293) + \gamma_Q (CC295 + CC297) + \gamma_{Qo} CC2$
CO186	Max	39.780			$\gamma_G (CC1 + CC293) + \gamma_Q (CC295 + CC298)$
CO187	Max	40.780			$\gamma_G (CC1 + CC300) + \gamma_Q (CC302 + CC304) + \gamma_{Qo} CC2$

CO188	Max	40.780		$\gamma_G (CC1 + CC299) + \gamma_Q CC304 + \gamma_{Qo} CC2$
CO189	Max	40.780		$\gamma_G (CC1 + CC301) + \gamma_Q (CC303 + CC304) + \gamma_{Qo} CC2$
CO190	Max	40.780		$\gamma_G (CC1 + CC301) + \gamma_Q (CC303 + CC305) + \gamma_{Qo} CC2$
CO191	Max	40.780		$\gamma_G (CC1 + CC301) + \gamma_Q (CC303 + CC306)$
CO192	Max	41.780		$\gamma_G (CC1 + CC308) + \gamma_Q (CC310 + CC312) + \gamma_{Qo} CC2$
CO193	Max	41.780		$\gamma_G (CC1 + CC307) + \gamma_Q CC312 + \gamma_{Qo} CC2$
CO194	Max	41.780		$\gamma_G (CC1 + CC309) + \gamma_Q (CC311 + CC312) + \gamma_{Qo} CC2$
CO195	Max	41.780		$\gamma_G (CC1 + CC309) + \gamma_Q (CC311 + CC313) + \gamma_{Qo} CC2$
CO196	Max	41.780		$\gamma_G (CC1 + CC309) + \gamma_Q (CC311 + CC314)$
CO197	Max	42.780		$\gamma_G (CC1 + CC316) + \gamma_Q (CC318 + CC320) + \gamma_{Qo} CC2$
CO198	Max	42.780		$\gamma_G (CC1 + CC315) + \gamma_Q CC320 + \gamma_{Qo} CC2$

CO199	Max	42.780		$\gamma_G (CC1 + CC317) + \gamma_Q (CC319 + CC320) + \gamma_{Qo} CC2$
CO200	Max	42.780		$\gamma_G (CC1 + CC317) + \gamma_Q (CC319 + CC321) + \gamma_{Qo} CC2$
CO201	Max	42.780		$\gamma_G (CC1 + CC317) + \gamma_Q (CC319 + CC322)$
CO202	Max	43.780		$\gamma_G (CC1 + CC324) + \gamma_Q (CC326 + CC328) + \gamma_{Qo} CC2$
CO203	Max	43.780		$\gamma_G (CC1 + CC323) + \gamma_Q CC328 + \gamma_{Qo} CC2$
CO204	Max	43.780		$\gamma_G (CC1 + CC325) + \gamma_Q (CC327 + CC328) + \gamma_{Qo} CC2$
CO205	Max	43.780		$\gamma_G (CC1 + CC325) + \gamma_Q (CC327 + CC329) + \gamma_{Qo} CC2$
CO206	Max	43.780		$\gamma_G (CC1 + CC325) + \gamma_Q (CC327 + CC330)$
CO207	Max	44.780		$\gamma_G (CC1 + CC332) + \gamma_Q (CC334 + CC336) + \gamma_{Qo} CC2$
CO208	Max	44.780		$\gamma_G (CC1 + CC331) + \gamma_Q CC336 + \gamma_{Qo} CC2$
CO209	Max	44.780		$\gamma_G (CC1 + CC333) + \gamma_Q (CC335 + CC336) + \gamma_{Qo} CC2$

CO210	Max	44.780		$\gamma_G (CC1 + CC333) + \gamma_Q (CC335 + CC337) + \gamma_{Qo} CC2$
CO211	Max	44.780		$\gamma_G (CC1 + CC333) + \gamma_Q (CC335 + CC338)$
CO212	Max	45.780		$\gamma_G (CC1 + CC340) + \gamma_Q (CC342 + CC344) + \gamma_{Qo} CC2$
CO213	Max	45.780		$\gamma_G (CC1 + CC339) + \gamma_Q CC344 + \gamma_{Qo} CC2$
CO214	Max	45.780		$\gamma_G (CC1 + CC341) + \gamma_Q (CC343 + CC344) + \gamma_{Qo} CC2$
CO215	Max	45.780		$\gamma_G (CC1 + CC341) + \gamma_Q (CC343 + CC345) + \gamma_{Qo} CC2$
CO216	Max	45.780		$\gamma_G (CC1 + CC341) + \gamma_Q (CC343 + CC346)$
CO217	Max	46.780		$\gamma_G (CC1 + CC348) + \gamma_Q (CC350 + CC352) + \gamma_{Qo} CC2$
CO218	Max	46.780		$\gamma_G (CC1 + CC347) + \gamma_Q CC352 + \gamma_{Qo} CC2$
CO219	Max	46.780		$\gamma_G (CC1 + CC349) + \gamma_Q (CC351 + CC352) + \gamma_{Qo} CC2$
CO220	Max	46.780		$\gamma_G (CC1 + CC349) + \gamma_Q (CC351 + CC353) + \gamma_{Qo} CC2$

CO221	Max	46.780		$\gamma_G (CC1 + CC349) + \gamma_Q (CC351 + CC354)$
CO222	Max	47.780		$\gamma_G (CC1 + CC356) + \gamma_Q (CC358 + CC360) + \gamma_{Qo} CC2$
CO223	Max	47.780		$\gamma_G (CC1 + CC355) + \gamma_Q CC360 + \gamma_{Qo} CC2$
CO224	Max	47.780		$\gamma_G (CC1 + CC357) + \gamma_Q (CC359 + CC360) + \gamma_{Qo} CC2$
CO225	Max	47.780		$\gamma_G (CC1 + CC357) + \gamma_Q (CC359 + CC361) + \gamma_{Qo} CC2$
CO226	Max	47.780		$\gamma_G (CC1 + CC357) + \gamma_Q (CC359 + CC362)$
CO227	Max	48.780		$\gamma_G (CC1 + CC364) + \gamma_Q (CC366 + CC368) + \gamma_{Qo} CC2$
CO228	Max	48.780		$\gamma_G (CC1 + CC363) + \gamma_Q CC368 + \gamma_{Qo} CC2$
CO229	Max	48.780		$\gamma_G (CC1 + CC365) + \gamma_Q (CC367 + CC368) + \gamma_{Qo} CC2$
CO230	Max	48.780		$\gamma_G (CC1 + CC365) + \gamma_Q (CC367 + CC369) + \gamma_{Qo} CC2$
CO231	Max	48.780		$\gamma_G (CC1 + CC365) + \gamma_Q (CC367 + CC370)$

CO232	Max	49.470		$\gamma_G (CC1 + CC372) + \gamma_Q (CC374 + CC376) + \gamma_{Qo} CC2$
CO233	Max	49.470		$\gamma_G (CC1 + CC371) + \gamma_Q CC376 + \gamma_{Qo} CC2$
CO234	Max	49.470		$\gamma_G (CC1 + CC373) + \gamma_Q (CC375 + CC376) + \gamma_{Qo} CC2$
CO235	Max	49.470		$\gamma_G (CC1 + CC373) + \gamma_Q (CC375 + CC377) + \gamma_{Qo} CC2$
CO236	Max	49.470		$\gamma_G (CC1 + CC373) + \gamma_Q (CC375 + CC378)$

Combinaciones de carga (fatiga):

A	B	C	D	E	F
CO núm.	Viga	Posición de 1ª rueda de grúa [m]			Descripción de la carga
		Grúa 1	Grúa 2	Grúa 3	
CO1	Max	3.780			CC1 + CC2 + CC3
CO2	Max	4.780			CC1 + CC4 + CC5
CO3	Max	5.780			CC1 + CC6 + CC7
CO4	Max	6.780			CC1 + CC8 + CC9
CO5	Max	7.780			CC1 + CC10 + CC11
CO6	Max	8.780			CC1 + CC12 + CC13
CO7	Max	9.780			CC1 + CC14 + CC15
CO8	Max	10.780			CC1 + CC16 + CC17
CO9	Max	11.780			CC1 + CC18 + CC19
CO10	Max	12.780			CC1 + CC20 + CC21
CO11	Max	13.780			CC1 + CC22 + CC23
CO12	Max	14.780			CC1 + CC24 + CC25
CO13	Max	15.780			CC1 + CC26 + CC27
CO14	Max	16.780			CC1 + CC28 + CC29
CO15	Max	17.780			CC1 + CC30 + CC31
CO16	Max	18.780			CC1 + CC32 + CC33
CO17	Max	19.780			CC1 + CC34 + CC35
CO18	Max	20.780			CC1 + CC36 + CC37
CO19	Max	21.780			CC1 + CC38 + CC39
CO20	Max	22.780			CC1 + CC40 + CC41
CO21	Max	23.780			CC1 + CC42 + CC43
CO22	Max	24.780			CC1 + CC44 + CC45
CO23	Max	25.780			CC1 + CC46 + CC47
CO24	Max	26.780			CC1 + CC48 + CC49
CO25	Max	27.780			CC1 + CC50 + CC51
CO26	Max	28.780			CC1 + CC52 + CC53
CO27	Max	29.780			CC1 + CC54 + CC55
CO28	Max	30.780			CC1 + CC56 + CC57
CO29	Max	31.780			CC1 + CC58 + CC59
CO30	Max	32.780			CC1 + CC60 + CC61
CO31	Max	33.780			CC1 + CC62 + CC63
CO32	Max	34.780			CC1 + CC64 + CC65
CO33	Max	35.780			CC1 + CC66 + CC67
CO34	Max	36.780			CC1 + CC68 + CC69
CO35	Max	37.780			CC1 + CC70 + CC71
CO36	Max	38.780			CC1 + CC72 + CC73
CO37	Max	39.780			CC1 + CC74 + CC75
CO38	Max	40.780			CC1 + CC76 + CC77
CO39	Max	41.780			CC1 + CC78 + CC79
CO40	Max	42.780			CC1 + CC80 + CC81
CO41	Max	43.780			CC1 + CC82 + CC83
CO42	Max	44.780			CC1 + CC84 + CC85
CO43	Max	45.780			CC1 + CC86 + CC87
CO44	Max	46.780			CC1 + CC88 + CC89
CO45	Max	47.780			CC1 + CC90 + CC91
CO46	Max	48.780			CC1 + CC92 + CC93
CO47	Max	49.470			CC1 + CC94 + CC95

6.5.7. Informe de resultados

Para cada posición de la grúa, existen numerosas combinaciones. El programa CRANEWAY 8.25 estudia cada combinación de carga y analiza los esfuerzos internos, deformaciones, tensiones, abolladura, soldadura y fatiga, en posiciones particulares a lo largo de la viga carril.

A continuación adjuntamos el resumen de cálculo que nos permite comprobar que el perfil HEB 300 elegido cumple los requisitos para poder soportar nuestro puente grúa de 12,5 Tn.

A	B	C	D		E	F
Tipo de cálculo	Barra núm.	Posición x [m]	Existente	Límite	CO determinante	
2.4 Análisis de tensiones	1	4.926	0.933	< 1.00	CO7	
2.5 Análisis de deformación - Horizontal	1	2.112	3519.524	> 600.000	CO11	
2.5 Análisis de deformación - Vertical	10	2.880	681.773	> 600.000	CO227	
2.6 Cálculo a fatiga	1	4.853	0.780	< 1.00		
2.7 Análisis de abolladura	1	4.926	0.739	< 1.00		
2.8 Soldaduras - Análisis de tensiones	1	4.926	0.367	< 1.00	CO7	
2.9 Soldaduras - Cálculo a fatiga	1	0.530	0.582	< 1.00		
2.10 Factor de carga crítica	1		4.560	> 1.00	CO222	

También podemos apreciar como son el primer y el último vano los más solicitados.

7. DIMENSIONAMIENTO MEDIANTE EL PROGRAMA DE CÁLCULO

Como ya indicamos anteriormente utilizaremos el programa de cálculo informático CYPE Ingenieros para evitar el complicado cálculo manual de la estructura a fin de evitar errores y optimizar la estructura.

Teniendo definida la geometría de la nave y realizado los cálculos correspondientes de los cerramientos tanto de cubierta como de los laterales, introducimos dichos parámetros en el módulo “Generador de Pórticos”. Tras introducir los datos de partida y las acciones que actuarán sobre nuestra estructura, dimensionaremos las correas necesarias y posteriormente, los pórticos de nuestra estructura.

Datos generales de la obra

- Número de vanos: 10
- Separación entre pórticos: 5 m.
- Con cerramiento en cubierta.
 - Peso del cerramiento: 0,19 kN/m²
 - Sobrecarga del cerramiento: 0,40 kN/m² (en este apartado introducimos la sobrecarga de uso para mantenimiento no concomitante con el resto de variables).
- Con cerramiento en laterales.
 - Peso del cerramiento: 0,11 kN/m²

Datos de viento

La acción del viento queda definida según la normativa: CTE DB-SE AE.

- Zona eólica: C
- Grado de aspereza: IV. Zona urbana, industrial o forestal.
- Periodo de servicio (años): 50
- Con huecos en fachadas.

Fachada	Dh (m)	Dv (m)	Ph (m)	Pv (m)
Frontal (4)	5.00	5.00	5.50	2.50
Frontal (4)	5.00	5.00	16.50	2.50
Trasera (2)	5.00	5.00	5.50	2.50
Trasera (2)	5.00	5.00	16.50	2.50

Dichos huecos pertenecen a las puertas de entrada y de salida de la nave y a las puertas de evacuación. Cabe destacar que dichos huecos podrán estar abiertos o cerrados creando las pertinentes variables de viento.

Datos de nieve

La acción de la sobrecarga de nieve queda definida según la normativa: CTE DB-SE AE.

- Zona de clima invernal: 1.
- Altitud topográfica: 60 m.
- Cubierta sin resaltos.
- Exposición al viento: Normal.

Aceros en los perfiles

El material que utilizaremos para la estructura será un acero laminado S-275, siendo el valor característico de su tensión de límite elástico $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$ y el módulo de elasticidad $E = 210 \text{ GPa}$.

Combinación de acciones

A continuación se enumeran todas las hipótesis de carga individualmente, que se derivan de las acciones que actúan sobre la estructura:

- 1) PP Peso propio
- 2) Q Sobrecarga de uso
- 3) Q 1 Carro a la izda
- 4) Q 2 Carro a la dcha

5) V(0°) H1	Viento a 0°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
6) V(0°) H2	Viento a 0°, presión exterior tipo 1 Succión interior
7) V(0°) H3	Viento a 0°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior
8) V(0°) H4	Viento a 0°, presión exterior tipo 2 Succión interior
9) V(90°) H1	Viento a 90°, presión exterior tipo 1 Presión interior
10) V(90°) H2	Viento a 90°, presión exterior tipo 1 Succión interior
11) V(180°) H1	Viento a 180°, presión exterior tipo 1 sin acción en el interior
12) V(180°) H2	Viento a 180°, presión exterior tipo 1 Succión interior
13) V(180°) H3	Viento a 180°, presión exterior tipo 2 sin acción en el interior
14) V(180°) H4	Viento a 180°, presión exterior tipo 2 Succión interior
15) V(270°) H1	Viento a 270°, presión exterior tipo 1 Presión interior
16) V(270°) H2	Viento a 270°, presión exterior tipo 1 Succión interior
17) N(EI)	Nieve (estado inicial)
18) N(R) 1	Nieve (redistribución) 1
19) N(R) 2	Nieve (redistribución) 2

Correas

Tras haber definido los parámetros anteriores, se procede a calcular y dimensionar las correas, tanto las de cubierta como las de fachada.

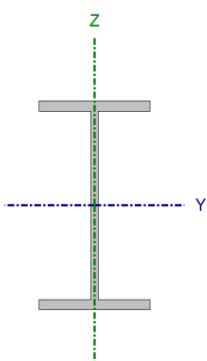
Dadas las características simétricas de la estructura, se ha optado por la implantación de 8 correas en cada faldón de cubierta y 7 en cada lateral de fachada. Dichas correas irán colocadas longitudinalmente a lo largo del pabellón siendo los extremos los pórticos hastiales y el pórtico central, ya que en este caso se presenta una junta de dilatación a 25 metros, puesto que los 50 metros de longitud de la nave superan los 40 metros máximos impuestos por norma.

Para estudiarlas se tomarán como vigas continuas de extremo a extremo y tendrán como apoyos los pórticos. El perfil de la serie IPE de las correas irá colocado de forma que el pandeo se produzca en su lado fuerte y este estará perpendicular al faldón.

Obtenemos los siguientes resultados según los datos introducidos:

Datos de correas de cubierta	
Descripción de correas	Parámetros de cálculo
Tipo de perfil: IPE 120	Límite flecha: L / 300
Separación: 1.50 m	Número de vanos: Tres vanos
Tipo de Acero: S275	Tipo de fijación: Fijación rígida
Comprobación de resistencia	

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 48.07 %
Barra pésima en cubierta

Perfil: IPE 120 Material: S275							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	0.746, 10.000, 10.575	0.746, 5.000, 10.575	5.000	13.20	318.00	27.70	1.69
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
β	0.00	1.00	0.00	0.00			
L _K	0.000	5.000	0.000	0.000			
C _m	1.000	1.00	1.000	1.000			
C ₁	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)												Estado			
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z V _z	NM _y M _z V _y		M _t	M _y V _t	M _z V _t
pésima en cubierta	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 5 m η = 48.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	x: 5 m η = 7.3	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	η < 0.1	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹¹⁾	CUMPL E η = 48.1
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _t : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _t : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (3) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (5) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (6) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (9) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (10) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$24.41 \leq 248.01 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

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

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

E : Módulo de elasticidad.

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

Siendo:

$$h_w : \frac{107.40}{1} \text{ mm}$$

$$t_w : \frac{4.40}{1} \text{ mm}$$

$$A_w : \frac{4.73}{1} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \frac{4.03}{1} \text{ cm}^2$$

$$k : \frac{0.30}{1}$$

$$E : \frac{210000}{1} \text{ MPa}$$

$$f_{yf} : \frac{275.00}{1} \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.481} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.746, 5.000, 10.575, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(0^\circ)$ H1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{7.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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:

$$M_{c,Rd} : \underline{15.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$W_{pl,y}$: 60.70 cm³

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{vd} : 261.90 MPa

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

η : 0.073 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.746, 5.000, 10.575, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.

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

V_{Ed} : 6.99 kN

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

$V_{c,Rd}$: 95.19 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 6.30 cm²

Siendo:

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

A : 13.20 cm²

b : Ancho de la sección.

b : 64.00 mm

t_f : Espesor del ala.

t_f : 6.30 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 4.40 mm

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

r : 7.00 mm

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{vd} : 261.90 MPa

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

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

$$21.23 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

λ_w : 21.23

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

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

ϵ : Factor de reducción.

ϵ : 0.92

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

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

f_y : 275.00 MPa

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

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

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

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

$$5.37 \text{ kN} \leq 47.60 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(0^\circ)$ H1.

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

V_{Ed} : 5.37 kN

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

$V_{c,Rd}$: 95.19 kN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 97.71 %

Datos de correas laterales	
Descripción de correas	Parámetros de cálculo
Tipo de perfil: IPE 120	Límite flecha: L / 300
Separación: 1.50 m	Número de vanos: Tres vanos
Tipo de Acero: S275	Tipo de fijación: Fijación rígida

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Aprovechamiento: 52.57 % Barra pésima en lateral

Perfil: IPE 120 Material: S275							
	Nudos		Longitud d (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	0.000, 50.000, 0.750	0.000, 45.000, 0.750	5.000	13.20	318.00	27.70	1.69
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	0.00	1.00	0.00	0.00		
	L _K	0.000	5.000	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
pésima en lateral	N.P. ⁽¹⁾	x: 0.833 m $\lambda_w \leq$ $\lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 5 m $\eta =$ 52.6	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	x: 5 m $\eta =$ 10.9	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.833 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹¹⁾	CUMPLE η = 52.6

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y$	$N M_z$	$N M_y M_z V_y$	V_z	M_t	
<p>Notación:</p> <p>$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $N M_y$: Resistencia a flexión y axil combinados $N M_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados $N M_y M_z V_y$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede</p> <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <p>(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (3) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (5) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (6) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (9) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (10) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p>																

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$24.41 \leq 248.01 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \frac{107.40}{1} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \frac{4.40}{1} \text{ mm}$$

A_w : Área del alma.

$$A_w : \frac{4.73}{1} \text{ cm}^2$$

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

$$A_{fc,ef} : \frac{4.03}{1} \text{ cm}^2$$

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

$$k : \frac{0.30}{1}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \frac{210000}{1} \text{ MPa}$$

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

$$f_{yf} : \frac{275.00}{1} \text{ MPa}$$

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.526} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 45.000, 0.750, para la combinación de acciones $1.35 \cdot G1 + 1.35 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(90^\circ)$ H1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{8.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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:

$$M_{c,Rd} : \underline{15.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

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

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.109} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 45.000, 0.750, para la combinación de acciones $1.35 \cdot G1 + 1.35 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(90^\circ)$ H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{10.35} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{95.19} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

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

Siendo:

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

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

b : Ancho de la sección.

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

t_f : Espesor del ala.

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

t_w : Espesor del alma.

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

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$21.23 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{21.23}$$

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

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

ϵ : Factor de reducción.

$$\epsilon : \underline{0.92}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

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

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

$$4.41 \text{ kN} \leq 47.60 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.833 m del nudo 0.000, 50.000, 0.750, para la combinación de acciones $1.35 \cdot G1 + 1.35 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(90^\circ) H1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 4.41 kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: 95.19 kN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 99.22 %

Pórticos

Se dispondrán de 11 pórticos rígidos biempotrados, separados entre sí a 5 metros, conformando así una longitud total de la nave de 50 metros.

Los pórticos tendrán una luz de 22 metros, con 10 metros de altura de alero y 11,1 metros de altura de cumbrera.

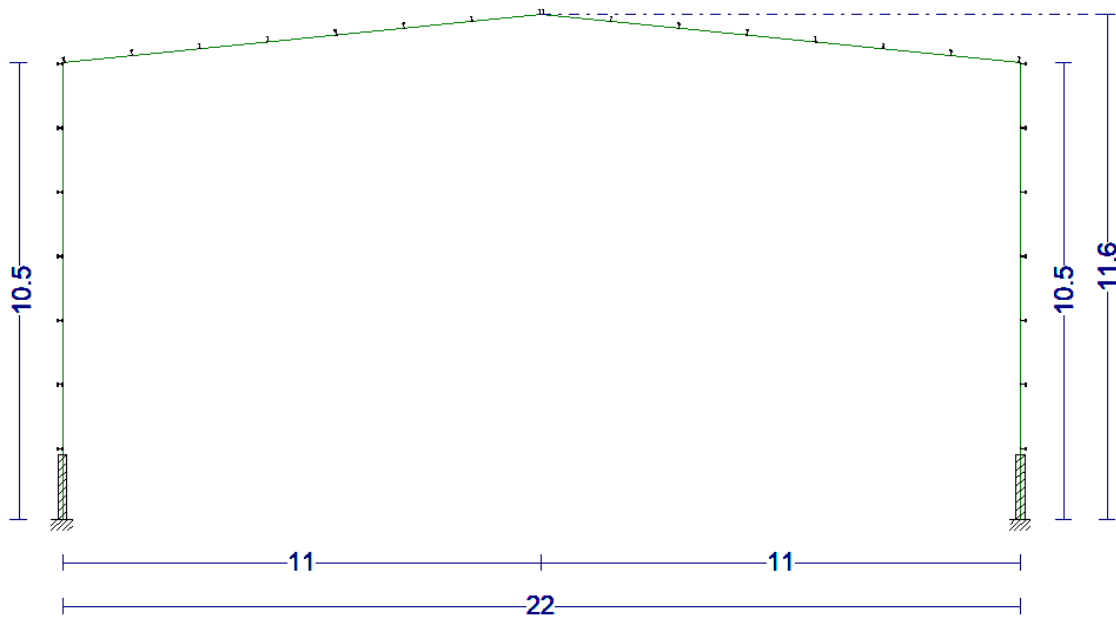


Figura 46. Dimensiones del pórtico

Como muestra la figura, las dimensiones de los pilares son 0,5 mayores; estos 0,5 metros de estructura irán soterrados dándonos el margen necesario para alojar el forjado de la nave.

Los pórticos serán traslacionales y, como ya hemos indicado anteriormente, biempotrados. Este empotramiento en la base de los pilares nos obligará a realizar zapatas de mayores dimensiones que en el caso de pórticos biarticulados, pero a cambio conseguiremos unos perfiles metálicos de menores dimensiones para nuestra

estructura.

Tras haber definido los parámetros de los pórticos exportamos la obra al módulo CYPE 3D.

En el módulo CYPE 3D se realizan las siguientes acciones que nos permitirán el cálculo y dimensionamiento de nuestra nave:

- Creación del resto de la geometría de la nave.
- Descripción de los nudos de la estructura.
- Descripción de las barras de la estructura.
- Introducción de coeficientes de pandeo y flechas límite.
- Cálculo y comprobación de la estructura.
- Cálculo de las uniones y de las placas de anclaje.
- Cálculo de la cimentación.

Además de las acciones previamente mencionadas, crearemos dos nuevas sobrecargas de uso, correspondientes a la grúa puente solicitando a la estructura en su posición más desfavorable, las cuales, debido a la simetría de la nave y a la agrupación de barras, serán suficientes para un correcto cálculo de la estructura.

Una vez definida la estructura de la nave procedemos al cálculo y dimensionamiento del resto de elementos de la nave industrial.

7.1. ELEMENTOS DE LA NAVE

A continuación, presentamos las comprobaciones pertinentes para la situación más desfavorable de cada elemento de la estructura con sus pertinentes consideraciones.

7.1.1 Pórticos

Dinteles

El perfil elegido para los dinteles será un HEB 280 con cartela inicial inferior de 2,20 metros.

Tomamos la opción de acartelamiento de los dinteles en su unión con el pilar; de esta manera conseguimos que un perfil menor sea capaz de aguantar los momentos que se producen en la unión del dintel con el pilar y de la misma manera esto nos ayudará a la hora de diseñar la unión atornillada entre el dintel y el pilar.

Decidimos no acartelar la unión de los dinteles en cumbrera, ya que los perfiles simples elegidos son capaces de aguantar las sollicitaciones en esas uniones y simplemente podríamos colocarlos para facilitar su montaje en obra, cosa que para nuestro caso en particular no hemos considerado necesario; de esta manera nos ahorramos material sin perjudicar a la estructura.

En nuestro caso, serán los dinteles centrales los que se sometan a las mayores sollicitaciones. Dimensionaremos el resto de en función de estos para simplificar el montaje en obra y para que sea posible una ampliación de la nave en el futuro en caso necesario.

Todos los dinteles de los pórticos serán acartelados a excepción de los dinteles de los pórticos hastiales, que son los que recibirán menores sollicitaciones.

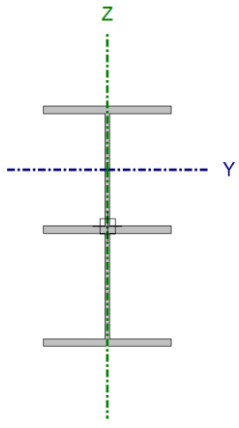
A continuación, se muestran las comprobaciones pertinentes que muestran que el perfil elegido cumple los requisitos necesarios:

Barra N27/N30

Perfil: HE 280 B, Simple con cartelas (Cartela inicial inferior: 2.20 m.) Material: Acero (S275)

Perfil: HE 280 B, Simple con cartelas (Cartela inicial inferior: 2.20 m.)
Material: Acero (S275)

Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas ⁽¹⁾					
Inicia I	Final I		Área (cm ²)	I _y ⁽²⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽²⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽³⁾ (cm ⁴)	y _a ⁽⁴⁾ (mm)	z _a ⁽⁴⁾ (mm)
N27	N30	11.055	205.80	77002.32	9890.00	209.34	0.00	123.28



Notas:
⁽¹⁾ Las características mecánicas y el dibujo mostrados corresponden a la sección inicial del perfil (N27)
⁽²⁾ Inercia respecto al eje indicado
⁽³⁾ Momento de inercia a torsión uniforme
⁽⁴⁾ Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.14	1.16	0.00	0.00
L _K	1.500	12.791	0.000	0.000
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000
C ₁	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C₁: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N27/N30	x: 2.34 m $\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.141 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 2.34 m $\eta = 2.0$	x: 2.34 m $\eta = 4.2$	x: 2.342 m $\eta = 42.9$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 2.066 m $\eta = 11.6$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 2.342 m $\eta = 48.4$	$\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPL E η = 48.4

Notación:
 $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
 λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_y: Resistencia a flexión eje Y
M_z: Resistencia a flexión eje Z
V_y: Resistencia a corte Y
M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
NM_yM_zV_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

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

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

$\bar{\lambda}$: 1.19 ✓

Donde:

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

Clase : 1

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

A : 131.40 cm²

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

f_y : 265.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{2441.22} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{cr,y} : \underline{2441.22} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{60750.61} \text{ kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

Donde:

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

$$I_y : \underline{19270.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{6595.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{146.09} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{1130000.00} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

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

G : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_{ky} : \underline{12.791} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{1.500} \text{ m}$$

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

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

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{14.03} \text{ cm}$$

Siendo:

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

$$i_y : \underline{12.11} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{7.08} \text{ cm}$$

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$48.00 \leq 243.61 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>504.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>10.50</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>52.92</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>50.40</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
f_{vf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{vf} : <u>265.00</u> MPa

Siendo:

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.020} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.340 m del nudo N27, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	$N_{t,Ed}$: <u>65.92</u> kN
--	------------------------------

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

$$N_{t,Rd} : \underline{3316.29} \text{ kN}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>131.40</u> cm ²
f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{vd} : <u>252.38</u> MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>265.00</u> MPa
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.020} \quad \checkmark$$

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.340 m del nudo N27, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$.

$$N_{c,Ed} : \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{67.47} \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{3316.29} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{131.40} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{1595.88} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{131.40} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0.48}$$

$$\chi_z : \underline{0.98}$$

Siendo:

$$\phi_y : \underline{1.38}$$

$$\phi_z : \underline{0.54}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

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

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.19}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.24}$$

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

$$N_{cr} : \underline{2441.22} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{2441.22} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{60750.61} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$: 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:

$$\eta : \underline{0.429} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.342 m del nudo N27, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{80.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.342 m del nudo N27, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{166.21} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \underline{387.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{1534.00} \text{ cm}^3$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.116} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.066 m del nudo N27, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$.

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

$$V_{Ed} : \underline{58.32} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{502.60} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{34.49} \text{ cm}^2$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

$$f_v : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

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

$$18.67 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.67}$$

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

ϵ : Factor de reducción.

$$\epsilon : \underline{0.94}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

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

f_y : 265.00 MPa

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

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

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

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

$$75.64 \text{ kN} \leq 413.10 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$.

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

V_{Ed} : 75.64 kN

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

$V_{c,Rd}$: 826.19 kN

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.449} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.484} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.286} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.342 m del nudo N27, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \frac{65.53}{kN}$
 $M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed} : \frac{166.21}{kN \cdot m}$
 $M_{z,Ed} : \frac{0.00}{kN \cdot m}$

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

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd} : \frac{3316.29}{kN}$
 $M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y} : \frac{387.15}{kN \cdot m}$
 $M_{pl,Rd,z} : \frac{181.11}{kN \cdot m}$

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

A: Área de la sección bruta. **A** : 131.40 cm²

$W_{pl,y}, W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{pl,y} : \frac{1534.00}{cm^3}$
 $W_{pl,z} : \frac{717.60}{cm^3}$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{vd} : \frac{252.38}{MPa}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \frac{265.00}{MPa}$

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

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$k_y : \frac{1.03}{}$

$k_z : \frac{1.00}{}$

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

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\chi_y : \frac{0.48}{}$
 $\chi_z : \frac{0.98}{}$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : \frac{1.19}{}$
 $\bar{\lambda}_z : \frac{0.24}{}$

α_y, α_z : Factores dependientes de la clase de la sección. $\alpha_y : \frac{0.60}{}$
 $\alpha_z : \frac{0.60}{}$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (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 $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(0^\circ)H4 + 1.5 \cdot N(EI)$.

$$75.64 \text{ kN} \leq 413.10 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	$V_{Ed,z} :$	$\frac{75.64}{\quad}$	kN
$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$V_{c,Rd,z} :$	$\frac{826.19}{\quad}$	kN

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

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

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

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

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

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

Pilares

El perfil elegido para los pilares será un HEB 280.

De la misma manera que ocurre para los dinteles, hemos dimensionado los pilares en función del que está sometido a mayores solicitaciones para facilitar el montaje en obra y que en un futuro, en caso de ser necesaria una ampliación de la estructura, ésta pueda realizarse de la forma más sencilla. También tenemos que tener en cuenta que si bien podría habernos servido, debido a las solicitaciones de flecha y resistencia un perfil menor, hemos optado por colocar el mismo perfil que el de los dinteles del pórtico, lo que nos facilitará el montaje en obra y el dimensionamiento de las uniones.

A continuación, se muestran las comprobaciones pertinentes que muestran que el perfil elegido cumple los requisitos necesarios:

Barra N102/N27

Perfil: HE 280 B
Material: Acero (S275)

Perfil: HE 280 B Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N102	N27	3.000	131.40	19270.00	6595.00	146.09
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		0.14	1.50	0.00	0.00	
L _K		0.429	4.500	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N102/N27	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 2.604 m η = 1.9	x: 0.1 m η = 3.1	x: 2.605 m η = 72.4	x: 0.1 m η = 1.1	x: 2.605 m η = 9.9	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 2.605 m η = 75.2	η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	CUMPLE η = 75.2
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

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

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

$\bar{\lambda}$: 0.42 ✓

Donde:

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

Clase : 1

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

A : 131.40 cm²

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

f_y : 265.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 19723.13 kN

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

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

$$N_{cr,y} : \underline{19723.13} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{744197.62} \text{ kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

Donde:

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

$$I_y : \underline{19270.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{6595.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{146.09} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{1130000.00} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

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

G : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_{ky} : \underline{4.500} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{0.429} \text{ m}$$

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

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

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{14.03} \text{ cm}$$

Siendo:

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

$$i_y : \underline{12.11} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{7.08} \text{ cm}$$

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$23.24 \leq 169.50 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{244.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.
 A_w : Área del alma.
 $A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.
 k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.
 E : Módulo de elasticidad.
 f_{vf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.
 Siendo:

t_w : 10.50 mm
 A_w : 25.62 cm²
 $A_{fc,ef}$: 50.40 cm²
 k : 0.30
 E : 210000 MPa
 f_{vf} : 265.00 MPa

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

Se debe satisfacer:

η : 0.019 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.604 m del nudo N102, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

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

$N_{t,Ed}$: 62.54 kN

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

$N_{t,Rd}$: 3316.29 kN

Donde:

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

A : 131.40 cm²

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{vd} : 252.38 MPa

Siendo:

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

f_y : 265.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

η : 0.028 ✓

η : 0.031 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.100 m del nudo N102, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(0°)H4+1.5·N(EI).

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

$$N_{c,Ed} : \underline{93.16} \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{3316.29} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{131.40} \text{ cm}^2$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{3044.31} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{131.40} \text{ cm}^2$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

$$\phi_y : \underline{0.63}$$

$$\phi_z : \underline{0.47}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

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

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

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

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.07}$$

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

$$N_{cr} : \underline{19723.13} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{19723.13} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{744197.62} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$: 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:

$$\eta : \underline{0.724} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.605 m del nudo N102, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{280.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.605 m del nudo N102, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{178.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \underline{387.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{1534.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.011} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.100 m del nudo N102, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.100 m del nudo N102, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{1.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \underline{181.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{717.60} \text{ cm}^3$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

$$f_v : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.099} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.605 m del nudo N102, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H4+0.75·N(EI).

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

$$V_{Ed} : \underline{59.26} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{599.31} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{41.13} \text{ cm}^2$$

Siendo:

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

$$A : \underline{131.40} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{280.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{18.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.50} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{24.00} \text{ mm}$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$18.67 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.67}$$

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

ϵ : Factor de reducción.

$$\epsilon : \underline{0.94}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.67} \text{ kN}$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{1541.34} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. $A_v : \underline{105.78} \text{ cm}^2$

Siendo:

A : Área de la sección bruta. $A : \underline{131.40} \text{ cm}^2$

d : Altura del alma. $d : \underline{244.00} \text{ mm}$

t_w : Espesor del alma. $t_w : \underline{10.50} \text{ mm}$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero. $f_{vd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$

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

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

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

$$55.16 \text{ kN} \leq 299.66 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{55.16} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd} : \underline{599.31} \text{ kN}$

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 $V_{c,Rd}$.

$$0.67 \text{ kN} \leq 770.67 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{0.67} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{1541.34} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.746} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.752} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.459} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.605 m del nudo N102, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(EI)$.

Donde:

$$N_{c,Ed}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{73.44} \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: \text{Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{v,Ed}^+ : \underline{280.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\text{Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.} \quad \text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd}: \text{Resistencia a compresión de la sección bruta.} \quad N_{pl,Rd} : \underline{3316.29} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: \text{Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{pl,Rd,v} : \underline{387.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{181.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$A: \text{Área de la sección bruta.} \quad A : \underline{131.40} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y}, W_{pl,z}: \text{Módulos resistentes plásticos correspondientes a} \quad W_{pl,y} : \underline{1534.00} \text{ cm}^3$$

la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_{pl,z} : \underline{717.60} \text{ cm}^3$$

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

Siendo:

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

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

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

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

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

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

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

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

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

$$\chi_y : \underline{0.92}$$

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

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

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

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.07}$$

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

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

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

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
1.35·PP+1.5·V(180°)H4+0.75·N(EI).

$$55.16 \text{ kN} \leq 299.66 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

$$V_{Ed,z} : \underline{55.16} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{599.31} \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

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

7.1.2 Pilarillos hastiales

El perfil elegido para los pilarillos hastiales será un HEB 280.

De la misma manera que ocurre para los dinteles, hemos dimensionado los pilarillos hastiales en función del que está sometido a mayores sollicitaciones para facilitar el montaje en obra.

Cabe destacar, que la base de los pilarillos será articulada, con el consiguiente efecto de necesitar una cimentación menor para éstos.

Su cometido será el de soportar las fuerzas que el viento ejerce en estas caras del cerramiento y transmitir las a las vigas de arriostramiento y a la cimentación. En nuestro caso en particular también ejercen la función de marcos para las puertas de entrada y salida de material de nuestra nave.

Hemos escogido este tipo de perfil, si bien nos valdría uno menor para aguantar las sollicitaciones a resistencia y flecha, para poder alinear la rasante con los pilares de los pórticos centrales y así facilitar el montaje de las correas laterales en particular y de la obra en general.

A continuación, se muestran las comprobaciones pertinentes que muestran que el perfil elegido cumple los requisitos necesarios:

Barra N65/N55

Perfil: HE 280 B
Material: Acero (S275)

Perfil: HE 280 B Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N65	N55	11.600	131.40	19270.00	6595.00	146.09
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		11.600	11.600	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	N _{M_yM_z}	N _{M_yM_zV_y}	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N65/N55	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumplido	x: 0.58 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	x: 11.6 m $\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 6.0$	x: 5.8 m $\eta = 17.3$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 3.8$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.58 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 5.8 m $\eta = 17.5$	x: 0.58 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPL E η = 17.5
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados N _{M_yM_z} : Resistencia a flexión y axil combinados N _{M_yM_zV_y} : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

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

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

$\bar{\lambda}$: 1.85 ✓

Donde:

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

Clase : 1

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

A : 131.40 cm²

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

f_v : 265.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 1015.82 kN

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

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

$$N_{cr,y} : \underline{2968.14} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{1015.82} \text{ kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

Donde:

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

$$I_y : \underline{19270.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{6595.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{146.09} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{1130000.00} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

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

G : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_{ky} : \underline{11.600} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{11.600} \text{ m}$$

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

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

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{14.03} \text{ cm}$$

Siendo:

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

$$i_y : \underline{12.11} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{7.08} \text{ cm}$$

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$23.24 \leq 169.50 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>244.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>10.50</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>25.62</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>50.40</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
f_{vf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{vf} : <u>265.00</u> MPa
Siendo:	

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N55, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	$N_{t,Ed}$: <u>14.70</u> kN
--	------------------------------

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

$$N_{t,Rd} : \underline{3316.29} \text{ kN}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>131.40</u> cm ²
f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{vd} : <u>252.38</u> MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>265.00</u> MPa
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.013} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.060} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N65, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{44.53} \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{3316.29} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{131.40} \text{ cm}^2$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{741.86} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{131.40} \text{ cm}^2$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0.55}$$

$$\chi_z : \underline{0.22}$$

Siendo:

$$\phi_y : \underline{1.24}$$

$$\phi_z : \underline{2.62}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

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

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.08}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.85}$$

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

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

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

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

$$N_{cr} : \underline{1015.82} \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} : \underline{2968.14} \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} : \underline{1015.82} \text{ kN}$$

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.173} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.800 m del nudo N65, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{59.96} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.800 m del nudo N65, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{66.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \underline{387.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : \underline{1534.00} \text{ cm}^3$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N65, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{23.05} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{599.31} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{41.13} \text{ cm}^2$$

Siendo:

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

$$A : \underline{131.40} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{280.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{18.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.50} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{24.00} \text{ mm}$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$18.67 < 65.92 \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{18.67}$$

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

ϵ : Factor de reducción.

$$\epsilon : \underline{0.94}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

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

f_y : 265.00 MPa

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

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

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

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

$$20.74 \text{ kN} \leq 299.66 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.580 m del nudo N65, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

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

V_{Ed} : 20.74 kN

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

$V_{c,Rd}$: 599.31 kN

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.165} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.138} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 5.800 m del nudo N65, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed} : \underline{32.43} \text{ kN}$
$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed}^+ : \underline{59.96} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{z,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd} : \underline{3316.29} \text{ kN}$
$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y} : \underline{387.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{pl,Rd,z} : \underline{181.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$
Resistencia a pandeo : (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)	
A : Área de la sección bruta.	A : <u>131.40</u> cm ²
$W_{pl,y}, W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{pl,y} : \underline{1534.00} \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} : \underline{717.60} \text{ cm}^3$
f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{vd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z : \underline{1.06}$$

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

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

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

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

$$\chi_y : \underline{0.55}$$

$$\chi_z : \underline{0.22}$$

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.08}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.85}$$

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

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

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

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.580 m del nudo N65, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2$.

$$20.74 \text{ kN} \leq 299.66 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	$V_{Ed,z} :$	$\frac{20.74}{599.31}$	kN
$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$V_{c,Rd,z} :$		kN

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

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

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

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

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

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

7.1.3 Vigas de arriostramiento y marcos de las cruces de San Andrés

La misión fundamental de los arriostramientos en los edificios industriales, es absorber los empujes longitudinales provocados por el viento debido a su presión sobre las paredes frontales, así como las fuerzas de inercia longitudinal originadas por los puentes grúa en su movimiento.

Se han elegido perfiles IPE 160 tanto para las vigas de arriostramiento como para los marcos de las cruces de Andrés.

Si bien para nuestra estructura podrían valernos perfiles de menor sección, de han elegido estos perfiles para dar una mayor estabilidad, para garantizar las condiciones de las uniones con el resto de la estructura y proporcionar el área de marco necesario para las cruces de San Andrés.

A continuación, se muestran las comprobaciones pertinentes que muestran que

el perfil elegido cumple los requisitos necesarios:

Barra N47/N52

Perfil: IPE 160 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N47	N52	5.000	20.10	869.00	68.30	3.54
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	0.14	1.00	0.00	0.00		
L _K	0.700	5.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.00	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z V _y	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N47/N52	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.313 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	$\eta = 0.4$	$\eta = 18.3$	x: 2.5 m $\eta = 2.0$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 2.5 m $\eta = 20.5$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE E η = 20.5
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z V _y : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (2) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (3) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (4) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (5) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

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

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

$\bar{\lambda}$: **0.88** ✓

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 :** 20.10 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y :** 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{720.44} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{cr,y} : \underline{720.44} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{2888.97} \text{ kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

Donde:

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

$$I_y : \underline{869.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{68.30} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{3.54} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{3960.00} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

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

G : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_{ky} : \underline{5.000} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{0.700} \text{ m}$$

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

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

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.83} \text{ cm}$$

Siendo:

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

$$i_y : \underline{6.58} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{1.84} \text{ cm}$$

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$29.04 \leq 250.58 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>145.20</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>5.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>7.26</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>6.07</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
f_{vf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{vf} : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$$N_{t,Ed} : \text{Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{t,Ed} : \underline{2.06} \text{ kN}$$

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

$$N_{t,Rd} : \underline{526.43} \text{ kN}$$

Donde:

$$A : \text{Área bruta de la sección transversal de la barra.} \quad A : \underline{20.10} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.137} \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.183} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed} : \underline{72.09} \text{ kN}$

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

$N_{c,Rd} : \underline{526.43} \text{ kN}$

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 : 20.10 cm²

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{vd} : 261.90 MPa

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

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

$N_{b,Rd} : \underline{394.60} \text{ kN}$

Donde:

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

A : 20.10 cm²

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{vd} : 261.90 MPa

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M1} : 1.05

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : 0.75

χ_z : 0.91

Siendo:

ϕ_y : 0.95

ϕ_z : 0.64

α : Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.21

α_z : 0.34

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.88}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.44}$$

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

$$N_{cr} : \underline{720.44} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{720.44} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{2888.97} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$: 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:

$$\eta : \underline{0.020} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N47, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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:

$$M_{c,Rd} : \underline{32.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{124.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N47, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.52} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{146.16} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{9.67} \text{ cm}^2$$

Siendo:

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

$$A : \underline{20.10} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{82.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{7.40} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

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

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{9.00} \text{ mm}$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$25.44 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{25.44}$$

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

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

ϵ : Factor de reducción.

$$\epsilon : \underline{0.92}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

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

f_y : 275.00 MPa

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

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

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

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

0.46 kN ≤ 73.08 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N47, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

V_{Ed} : 0.46 kN

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

$V_{c,Rd}$: 146.16 kN

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

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

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

Se debe satisfacer:

η : 0.157 ✓

η : 0.205 ✓

η : 0.164 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N47, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed} : \underline{72.09} \text{ kN}$
$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{z,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : $\underline{1}$
$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd} : \underline{526.43} \text{ kN}$
$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y} : \underline{32.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{pl,Rd,z} : \underline{6.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$
Resistencia a pandeo : (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)	
A : Área de la sección bruta.	A : $\underline{20.10} \text{ cm}^2$
$W_{pl,y}, W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{pl,y} : \underline{124.00} \text{ cm}^3$ $W_{pl,z} : \underline{26.10} \text{ cm}^3$
f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{vd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.12}$$

$$k_z : \underline{1.04}$$

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

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

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

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

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

$$\chi_z : \underline{0.91}$$

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.88}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.44}$$

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

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

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

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N47, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$0.46 \text{ kN} \leq 73.08 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{0.46}{1} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{146.16}{1} \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

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

7.1.4 Elementos de arriostramiento (Cruces de San Andrés)

Su finalidad principal es la de absorber los empujes debido a la acción del viento. También colaboran en el frenado y arranque de la grúa puente. Los entramados arriostramiento se suelen colocar en los módulos extremos de la nave.

Para nuestra nave hemos elegido unos perfiles redondos R 22. Como llevamos haciendo hasta ahora, equipararemos el perfil que recibe mayores solicitaciones con el resto de elementos de arriostramiento, a fin de facilitar el montaje en obra.

A continuación, se muestran las comprobaciones pertinentes que muestran que el perfil elegido cumple los requisitos necesarios:

Barra N52/N74

<p>Perfil: R 22 Material: Acero (S275)</p>
--

Perfil: R 22 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas			
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N52	N74	5.839	3.80	1.15	1.15	2.30
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
β	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	0.00	0.00	0.00	0.00		
L _K	0.000	0.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)												Estado		
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N52/N74	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumplido	$\eta = 83.8$	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPL E η = 83.8
Notación: λ: Limitación de esbeltez N: Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

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

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$\bar{\lambda} < 0.01$ ✓

Donde:

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

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

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A: $\frac{3.80}{\text{cm}^2}$

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

N_{cr}: $\frac{\infty}{\text{MPa}}$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.838} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{80.37} \text{ kN}$$

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

$$N_{t,Rd} : \underline{95.94} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{3.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

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

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

7.1.5 Dinteles de las puertas de entrada y salida de material de la nave

Se han escogido unos perfiles IPE 160 para los dinteles de las puertas de entrada y salida de material de nave, coincidiendo este perfil con el del arriostramiento longitudinal de nave y el de los marcos de las cruces de San Andrés, facilitando así la colocación de estos perfiles en la obra.

A continuación, se muestran las comprobaciones pertinentes que muestran que el perfil elegido cumple los requisitos necesarios:

Barra N128/N129

Perfil: IPE 160
Material: Acero (S275)

Perfil: IPE 160 Material: Acero (S275)						
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas		
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)
	N128	N129	5.000	20.10	869.00	68.30
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.	
β	0.14	1.00	0.00	0.00		
L _K	0.700	5.000	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	□.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N128/N129	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.313 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	$\eta = 0.1$	$\eta = 0.1$	x: 2.5 m $\eta = 2.0$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.4$	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	x: 2.5 m $\eta = 2.1$	x: 0.313 m $\eta < 0.1$	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁵⁾	CUMPLE $\eta = 2.1$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

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

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

$\bar{\lambda}$: 0.88 ✓

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 :** 20.10 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y :** 275.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr} :** 720.44 kN

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

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

$$N_{cr,y} : \underline{720.44} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{2888.97} \text{ kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

Donde:

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

$$I_y : \underline{869.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{68.30} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{3.54} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{3960.00} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

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

G : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_{ky} : \underline{5.000} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{0.700} \text{ m}$$

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

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

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{6.83} \text{ cm}$$

Siendo:

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

$$i_y : \underline{6.58} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{1.84} \text{ cm}$$

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$29.04 \leq 250.58 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>145.20</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>5.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>7.26</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>6.07</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
f_{vf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{vf} : <u>275.00</u> MPa
Siendo:	

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H3+0.75·N(R)1.

$$N_{t,Ed} : \text{Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{t,Ed} : \underline{0.37} \text{ kN}$$

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

$$N_{t,Rd} : \underline{526.43} \text{ kN}$$

Donde:

$$A : \text{Área bruta de la sección transversal de la barra.} \quad A : \underline{20.10} \text{ cm}^2$$

$$f_{vd} : \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{vd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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 compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

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

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

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.35} \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{526.43} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{20.10} \text{ cm}^2$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{394.60} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{20.10} \text{ cm}^2$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_z : \underline{0.91}$$

Siendo:

$$\phi_y : \underline{0.95}$$

$$\phi_z : \underline{0.64}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.88}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.44}$$

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

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

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

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

$$N_{cr} : \underline{720.44} \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} : \underline{720.44} \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} : \underline{2888.97} \text{ kN}$$

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.020} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N128, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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:

$$M_{c,Rd} : \underline{32.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{124.00} \text{ cm}^3$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N128, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.52} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{146.16} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{9.67} \text{ cm}^2$$

Siendo:

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

$$A : \underline{20.10} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{82.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{7.40} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

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

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{9.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$25.44 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{25.44}$$

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

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

ε : Factor de reducción.

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

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

f_y : 275.00 MPa

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

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

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

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

$$0.46 \text{ kN} \leq 73.08 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N128, para la combinación de acciones 1.35·PP.

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

V_{Ed} : 0.46 kN

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

$V_{c,Rd}$: 146.16 kN

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.013} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.500 m del nudo N128, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2$.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed} : 0.35$ kN
$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed}^+ : 0.65$ kN·m $M_{z,Ed}^+ : 0.00$ kN·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd} : 526.43$ 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.	$M_{pl,Rd,y} : 32.48$ kN·m $M_{pl,Rd,z} : 6.84$ kN·m
Resistencia a pandeo : (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)	
A : Área de la sección bruta.	A : <u>20.10</u> cm ²
$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{pl,y} : 124.00$ cm ³ $W_{pl,z} : 26.10$ cm ³
f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.	$f_{vd} : 261.90$ MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	$f_y : 275.00$ MPa
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	$\gamma_{M1} : 1.05$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y : 1.00$$

$$k_z : 1.00$$

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

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

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

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

$$\chi_y : 0.75$$

$$\chi_z : 0.91$$

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

$$\bar{\lambda}_y : 0.88$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.44$$

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

$$\alpha_y : 0.60$$

$$\alpha_z : 0.60$$

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.313 m del nudo N128, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$0.46 \text{ kN} \leq 73.08 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{0.46}{\quad} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{146.16}{\quad} \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

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

7.1.6 Ménsulas de la viga carril

Se han elegido unos perfiles HEB 200 para las ménsulas.

A continuación, se muestran las comprobaciones pertinentes que muestran que el perfil elegido cumple los requisitos necesarios:

Barra N102/N103

Perfil: HE 200 B
Material: Acero (S275)

Perfil: HE 200 B Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas			
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N102	N103	0.490	78.10	5696.00	2003.00	59.70
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
Pandeo		Pandeo lateral				
Plano XY		Plano XZ		Ala sup.	Ala inf.	
β	2.00	2.00	0.00	0.00		
L _K	0.980	0.980	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N102/N103	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.14 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 0.2	x: 0.14 m η = 32.5	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.14 m η = 41.6	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0.14 m η < 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.14 m η = 32.7	x: 0.14 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPL E η = 41.6
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

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.

$\bar{\lambda}$: 0.22 ✓

Donde:

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

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

A : 78.10 cm²

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

f_y : 275.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 43226.28 kN

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

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

$$N_{cr,y} : \underline{122924.05} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{43226.28} \text{ kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

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

Donde:

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

$$I_y : \underline{5696.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{2003.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{59.70} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{171100.00} \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidad.

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

G : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_{ky} : \underline{0.980} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{0.980} \text{ m}$$

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

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

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{9.93} \text{ cm}$$

Siendo:

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

$$i_y : \underline{8.54} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{5.06} \text{ cm}$$

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$18.89 \leq 163.60 \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>170.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>9.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>15.30</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>30.00</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
f_{vf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{vf} : <u>275.00</u> MPa
Siendo:	

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:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·PGIZDA.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed}$: <u>3.92</u> kN
--	---

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

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{2045.48} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$\mathbf{A} : \underline{78.10} \text{ cm}^2$$

f_{vd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

γ_{M0} : 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 $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} : \underline{2021.62} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{78.10} \text{ cm}^2$$

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_z : \underline{0.99}$$

Siendo:

$$\phi_y : \underline{0.50}$$

$$\phi_z : \underline{0.53}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

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

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.13}$$

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

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

$$N_{cr} : \underline{43226.28} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{122924.05} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{43226.28} \text{ kN}$$

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:

$$\eta : \underline{0.325} \checkmark$$

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 un punto situado a una distancia de 0.140 m del nudo N102, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·PGIZDA.

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

$$M_{Ed} : \underline{54.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \underline{168.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{642.50} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.416} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.140 m del nudo N102, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·PGIZDA.

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

$$V_{Ed} : \underline{156.46} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{375.76} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{24.85} \text{ cm}^2$$

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A : <u>78.10</u> cm ²
b : Ancho de la sección.	b : <u>200.00</u> mm
t_f : Espesor del ala.	t_f : <u>15.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>9.00</u> mm
r : Radio de acuerdo entre ala y alma.	r : <u>18.00</u> mm

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{vd}** : 261.90 MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>275.00</u> MPa
γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{Mo} : <u>1.05</u>

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

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

$$14.89 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. **λ_w** : 14.89

λ_{máx}: Esbeltez máxima. **λ_{máx}** : 64.71

ε: Factor de reducción. **ε** : 0.92

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.	f_{ref} : <u>235.00</u> MPa
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>275.00</u> MPa

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

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

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

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

$$156.46 \text{ kN} \leq 187.88 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.140 m del nudo N102, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·PGIZDA.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{156.46} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \underline{375.76} \text{ kN}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.327} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.327} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.197} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.140 m del nudo N102, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·PGIZDA.

Donde:

$$N_{c,Ed}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad N_{c,Ed} : \underline{3.92} \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: \text{Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{y,Ed} : \underline{54.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\text{Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.} \quad \text{Clase} : \underline{1}$$

$$N_{pl,Rd}: \text{Resistencia a compresión de la sección bruta.} \quad N_{pl,Rd} : \underline{2045.48} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: \text{Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad M_{pl,Rd,y} : \underline{168.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{80.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$A: \text{Área de la sección bruta.} \quad A : \underline{78.10} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y}, W_{pl,z}: \text{Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.} \quad W_{pl,y} : \underline{642.50} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{305.80} \text{ cm}^3$$

$$f_{vd}: \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{vd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

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

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

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

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

k_y, k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

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

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

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

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

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

$$\chi_z : \underline{0.99}$$

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.13}$$

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

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

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

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

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.140 m del nudo N102, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·PGIZDA.

$$156.46 \text{ kN} \leq 187.88 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{156.46} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{375.76} \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

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

7.2. UNIONES

En el caso de nuestra obra hemos intentado solucionar la mayoría de uniones mediante uniones atornilladas, ya que este tipo de uniones facilitan su montaje en obra y su desmonte, en el caso de que en un futuro quisiésemos cambiar algún elemento de nuestra estructura. Aún así, inevitablemente aparecerán en nuestra obra uniones soldadas que complementarán a las uniones atornilladas.

A fin de garantizar un cálculo y dimensionamiento óptimo de las uniones soldadas tendremos que tener una serie de consideraciones que detallaremos a continuación.

7.2.1 Especificaciones

Norma

La ejecución de las pertinentes comprobaciones se ajusta a las prescripciones dispuestas en los apartados “8.5. *Resistencia de los medios de unión. Uniones atornilladas.*” y “8.6. *Resistencia de los medios de unión. Uniones soldadas.*” contenidos en el DB SE-A.

Materiales

Los aceros en chapas y perfiles utilizados en nuestra obra entran dentro de lo establecido en el apartado “4. *Materiales*” del DB SE-A. de la misma manera los tornillos, tuercas y arandelas que se utilicen en las uniones cumplirán las características mecánicas mínimas que se establecen en este mismo apartado.

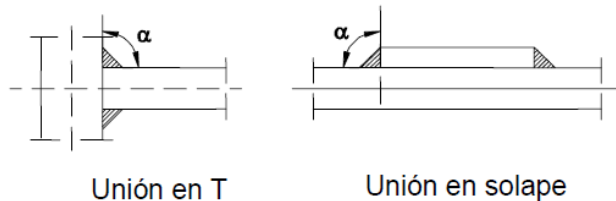
Cabe destacar que, en el caso de los materiales de aportación de las soldaduras, las características mecánicas de dichos materiales serán, en todos los casos, superiores a los del material base como bien indica la el DB SE-A en su apartado “4.4. *Materiales de aportación*”.

Disposiciones constructivas

Para el caso de las uniones soldadas, se cumplirán las disposiciones constructivas especificadas en el DB SE-A, concretamente en el apartado “8.6.1. Disposiciones constructivas y clasificación”.

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables:

- Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120° . Pueden ser uniones en T o de solape. En el caso de uniones en T:
 - si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos;
 - si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.



- El espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal, pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.
- La ejecución de los cordones de longitud L_0 en los extremos de la pieza es un detalle obligatorio.

Comprobaciones

En lo referente a las comprobaciones necesarias para las uniones soldadas cabe destacar las siguientes consideraciones:

- Cordones de soldadura a tope con penetración total:
En este caso no será necesaria ninguna comprobación. La resistencia de la unión será igual a la de la más debil de las piezas a unir.

- Cordones de soldadura a tope con penetración parcial y con preparación de bordes:
En este caso se comprueban como soldaduras en ángulo considerando un espesor de garganta igual al canto nominal de la preparación menos 2 mm, tal y como se indica en el artículo “8.6.3. Resistencia de cálculo de las soldaduras a tope” del CTE DB SE-A.

- Cordones de soldadura en ángulo:
Se realiza la comprobación de tensiones de cada cordón de soldadura según el artículo “8.6.2. Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo” del CTE DB-A.
Se comprueban los siguientes tipos de tensión:

- Tensión Von Mises

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

- Tensión normal

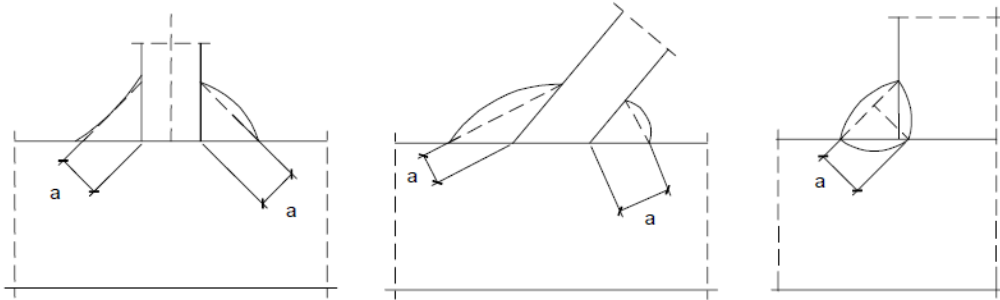
$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

7.2.2 Referencias y simbología

Se destacan las siguientes referencias:

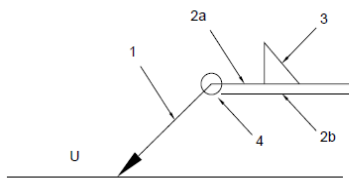
- a (mm)**: según el artículo “8.6.2. Resistencia de cálculo de las

soldaduras en ángulo” del DB SE-A, espesor de garganta del cordón en ángulo, que será la altura, medida perpendicularmente a la cara exterior, del triángulo que la tenga mayor, de entre los que se pueden inscribir entre las superficies de las piezas que hayan alcanzado la fusión y la superficie exterior de la soldadura.



- **L (mm):** según el artículo “8.6.2. Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo” del DB SE-A, longitud efectiva del cordón de soldadura.

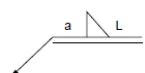
Método de representación de las soldaduras



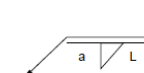
Referencias:

- 1: línea de la flecha
- 2a: línea de referencia (línea continua)
- 2b: línea de identificación (línea a trazos)
- 3: símbolo de soldadura
- 4: indicaciones complementarias
- U: Unión

Referencias 1, 2a y 2b



El cordón de soldadura que se detalla se encuentra en el lado de la flecha.



El cordón de soldadura que se detalla se encuentra en el lado opuesto al de la flecha.

Referencia 3

Designación	Ilustración	Símbolo
Soldadura en ángulo		
Soldadura a tope en 'V' simple (con chaflán)		
Soldadura a tope en bisel simple		
Soldadura a tope en bisel doble		
Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio		
Soldadura combinada a tope en bisel simple y en ángulo		
Soldadura a tope en bisel simple con lado curvo		

Referencia 4

Representación	Descripción
	Soldadura realizada en todo el perímetro de la pieza
	Soldadura realizada en taller
	Soldadura realizada en el lugar de montaje

7.2.3 Comprobaciones en placas de anclaje

En cada placa de anclaje se realizan las siguientes comprobaciones (asumiendo la hipótesis de placa rígida):

Hormigón sobre el que apoya la placa

Se comprueba que la tensión de compresión en la interfaz placa de anclaje-hormigón es menor a la tensión admisible del hormigón según la naturaleza de cada combinación.

Pernos de anclaje

Resistencia del material de los pernos: se descompones los esfuerzos actuantes sobre en la placa en axiles y cortantes en los pernos y se comprueba que ambos esfuerzos, por separado y con interacción entre ellos (tensión de Von Mises) producen tensiones menores a la tensión límite del material de los pernos.

Anclaje de los pernos: se comprueba el anclaje de los pernos en el hormigón de tal manera que no se produzca el fallo de deslizamiento por adherencia, arrancamiento del cono de rotura o fractura por esfuerzo cortante (aplastamiento).

Aplastamiento: se comprueba que cada perno no supera el cortante que produciría el aplastamiento de la placa contra el perno.

Placa de anclaje

Tensiones globales: en las placas con vuelo, se analizan cuatro secciones en el perímetro del perfil, y se comprueba en todas ellas que las tensiones de Von Mises sean menores que la tensión límite según la norma.

Flechas globales relativas: se comprueba que en los vuelos de las placas no se produzcan tensiones mayores que 1/250 del vuelo.

Tensiones locales: se comprueban las tensiones de Von Mises en todas las placas locales en las que tanto el perfil como los rigidizadores dividen a la placa de anclaje propiamente dicha. Los esfuerzos en cada una de las subplacas se obtienen a partir de las tensiones de contacto con el hormigón y los axiles de los pernos. El

modelo generado se resuelve por diferencias finitas.

7.2.4 Memoria de cálculo

TIPO 1 (Pilar con dintel y viga de atado en los pórticos hastiales)

a) Detalle

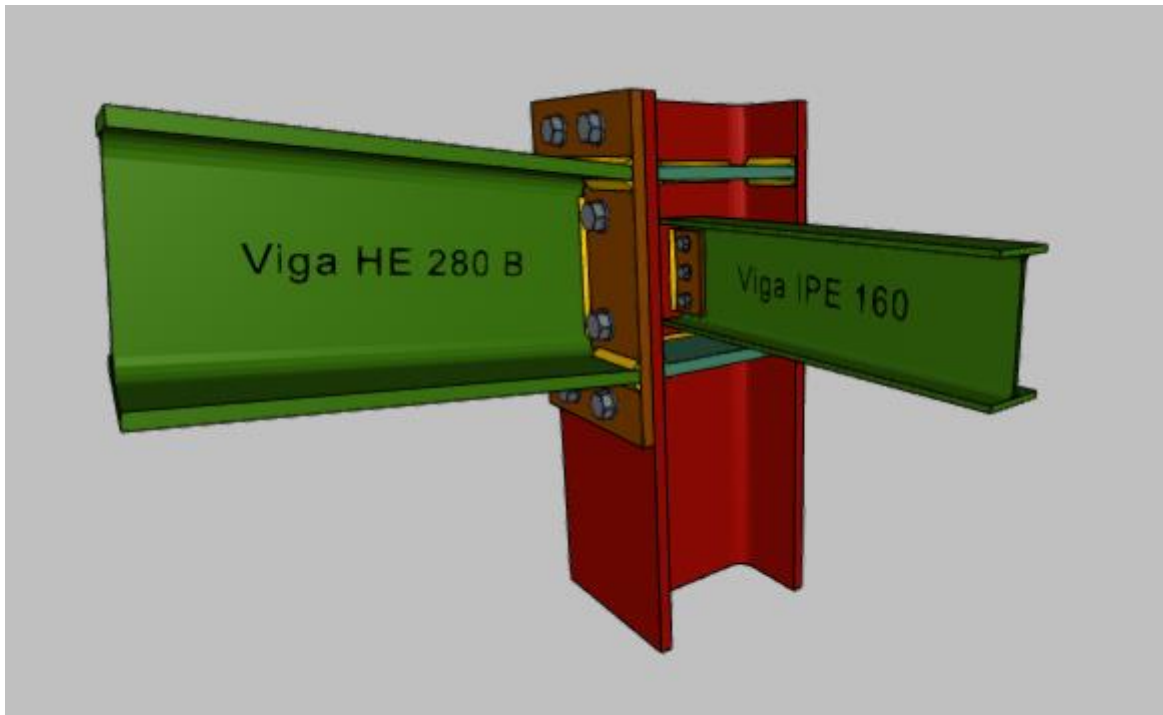


Figura 47. Unión tipo 1

a) Detalle

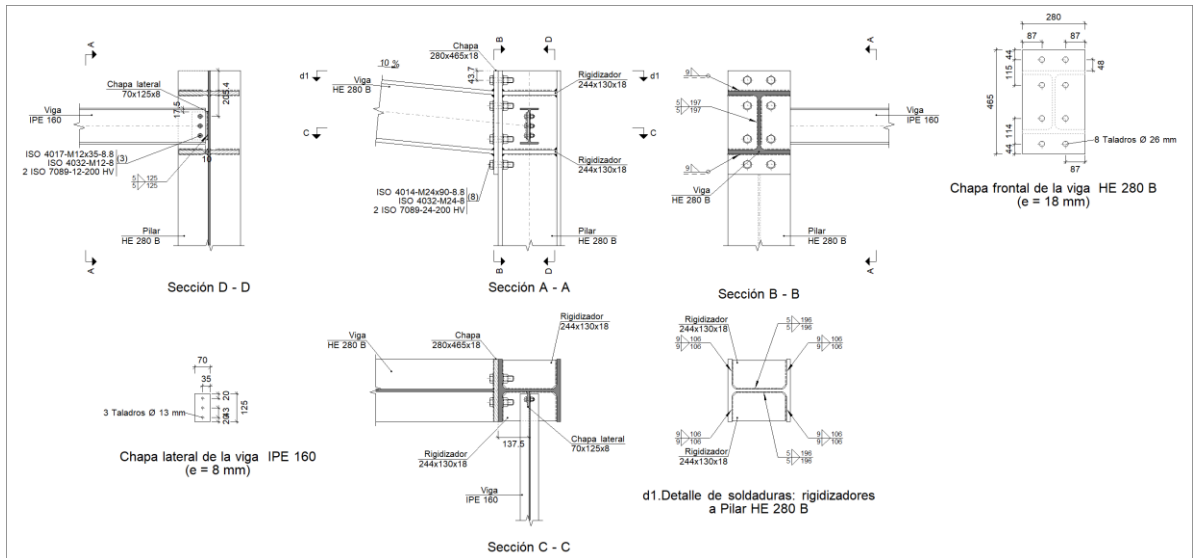
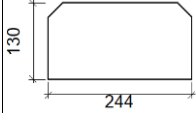
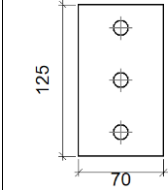
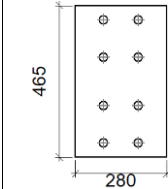


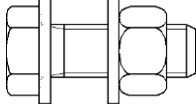
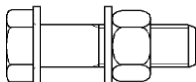
Figura 48. Descripción componentes unión tipo 1.

b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría				Acero			
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 160		160	82	7.4	5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Esquema	Geometría			Taladros		Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Rigidizador		244	130	18	-	-	S275	275.0	410.0
Chapa lateral: Viga IPE 160		70	125	8	3	13	S275	275.0	410.0
Chapa frontal: Viga HE 280 B		280	465	18	8	26	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M12x35-8.8 ISO 4032-M12-8 2 ISO 7089-12-200 HV		M12	35	8.8	640.0	800.0
ISO 4014-M24x90-8.8 ISO 4032-M24-8 2 ISO 7089-24-200 HV		M24	90	8.8	640.0	800.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 280 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltez	--	--	--	35.91
	Cortante	kN	366.97	401.97	91.29
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	80.74	261.90	30.83
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	85.99	261.90	32.83
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	80.62	261.90	30.78

	Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	86.12	261.90	32.88
	Ala	Desgarro	N/mm ²	75.70	261.90	28.90
		Cortante	N/mm ²	73.24	261.90	27.96
Viga HE 280 B	Ala	Tracción por flexión	kN	204.68	349.57	58.55
		Tracción	kN	70.99	562.15	12.63
	Alma	Tracción	kN	116.57	224.91	51.83
Viga IPE 160	Alma	Punzonamiento	kN	72.05	549.66	13.11
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	72.09	100.21	71.94

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	57.0	57.0	1.9	114.1	29.58	57.1	17.39	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	78.6	136.1	35.28	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	60.8	60.8	1.9	121.6	31.50	60.8	18.52	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	83.7	145.0	37.57	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	57.0	57.0	1.9	114.0	29.54	57.0	17.37	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	78.4	135.7	35.17	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	60.8	60.8	1.9	121.7	31.55	60.9	18.55	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	83.7	145.0	37.58	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga HE 280 B

Comprobaciones de resistencia

Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	204.68	289.99	70.58
Ala	Compresión	kN	354.52	1326.58	26.72
	Tracción	kN	135.17	561.79	24.06
Alma	Tracción	kN	59.49	305.00	19.50

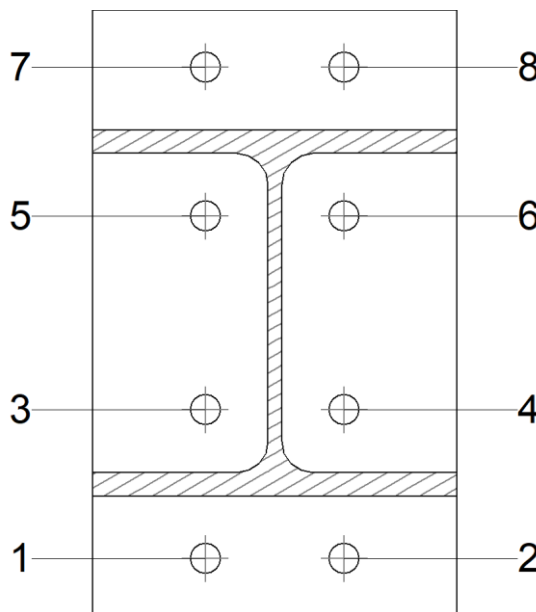
Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	84.29	
Soldadura del alma	En ángulo	5	197	10.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	84.29	

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	62.1	56.2	1.6	115.5	29.92	62.1	18.93	410.0	0.85
Soldadura del alma	54.0	54.0	22.7	114.9	29.77	54.0	16.45	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	59.2	65.4	0.9	127.7	33.10	59.2	18.03	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	44	87	114	107	43.7
2	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	44	87	114	107	43.7

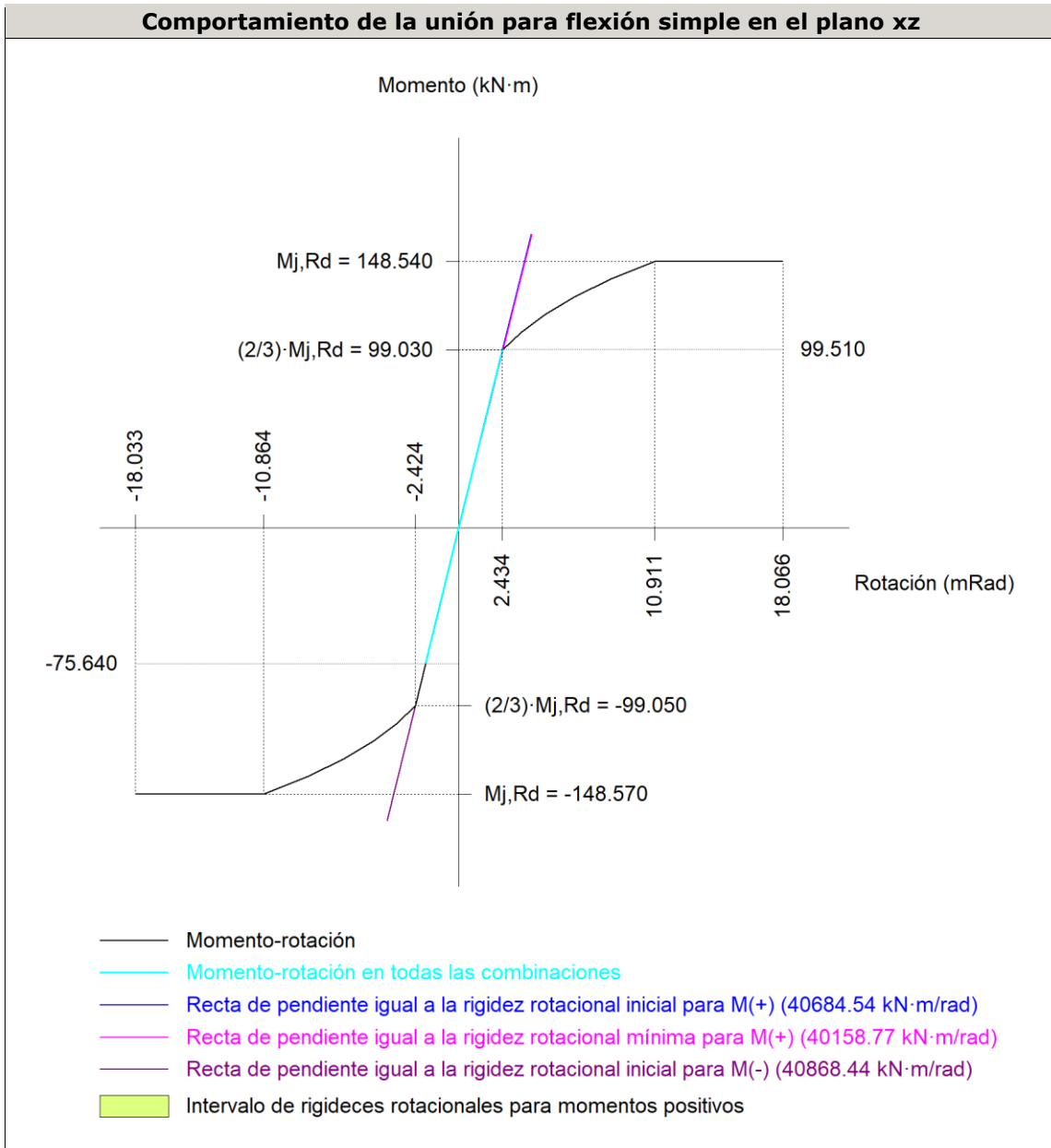
Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
3	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	87	114	107	48.0
4	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	87	114	107	48.0
5	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	87	115	107	48.0
6	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	87	115	107	48.0
7	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	44	87	115	107	43.7
8	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	44	87	115	107	43.7

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	14.401	144.765	9.95	Vástago	113.609	203.328	55.87	44.87	55.87
	Aplastamiento	14.401	354.240	4.07	Punzonamiento	113.609	420.390	27.02		
2	Sección transversal	14.401	144.765	9.95	Vástago	113.491	203.328	55.82	43.74	55.82
	Aplastamiento	14.401	354.240	4.07	Punzonamiento	113.491	420.390	27.00		
3	Sección transversal	10.487	144.765	7.24	Vástago	53.737	203.328	26.43	22.67	26.43
	Aplastamiento	10.487	354.240	2.96	Punzonamiento	53.737	420.390	12.78		
4	Sección transversal	10.880	144.765	7.52	Vástago	53.646	203.328	26.38	21.02	26.38
	Aplastamiento	10.880	354.240	3.07	Punzonamiento	53.646	420.390	12.76		
5	Sección transversal	7.118	144.765	4.92	Vástago	67.318	203.328	33.11	27.29	33.11
	Aplastamiento	7.118	354.240	2.01	Punzonamiento	67.318	420.390	16.01		
6	Sección transversal	7.665	144.765	5.29	Vástago	67.300	203.328	33.10	27.76	33.10
	Aplastamiento	7.665	354.240	2.16	Punzonamiento	67.300	420.390	16.01		
7	Sección transversal	6.877	144.765	4.75	Vástago	143.512	203.328	70.58	54.14	70.58
	Aplastamiento	5.388	201.799	2.67	Punzonamiento	143.512	420.390	34.14		
8	Sección transversal	6.788	144.765	4.69	Vástago	143.489	203.328	70.57	54.59	70.57
	Aplastamiento	6.788	223.992	3.03	Punzonamiento	143.489	420.390	34.13		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
----------------------------	------------------------	------------------------

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	45712.69	40684.54
Calculada para momentos negativos	45712.69	40868.44



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	0.77	1.80	42.92
Momento resistente	kNm	99.51	148.54	66.99
Capacidad de rotación	mRad	137.152	667	20.57

3) Viga IPE 160

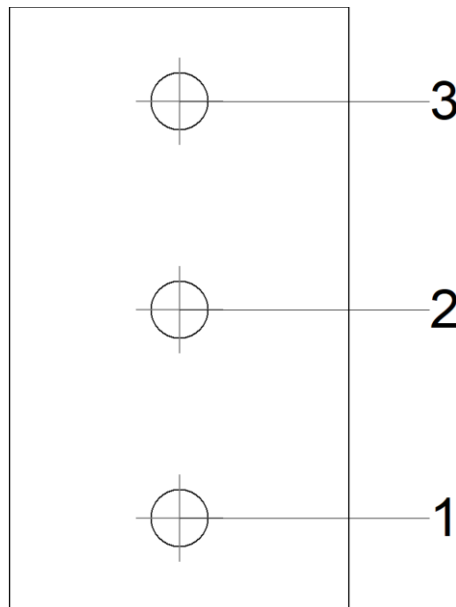
Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.13

	Tensiones combinadas	--	--	--	27.86
	Pandeo local	N/mm ²	72.97	241.98	30.16
	Aplastamiento	kN	24.24	70.65	34.32
	Desgarro	kN	72.09	104.03	69.30
Alma	Aplastamiento	kN	24.24	49.20	49.28
	Desgarro	kN	72.09	98.52	73.18

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	125	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	40.8	40.8	0.4	81.6	21.14	40.8	12.43	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5
2	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	--	25	43	--	35.0
3	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	23.891	26.976	88.56	Vástago	0.000	48.557	0.00	88.56	88.56
	Aplastamiento	23.891	70.645	33.82	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
2	Sección transversal	24.031	26.976	89.08	Vástago	0.000	48.557	0.00	89.08	89.08
	Aplastamiento	24.031	70.646	34.02	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
3	Sección transversal	24.244	26.976	89.87	Vástago	0.000	48.557	0.00	89.87	89.87
	Aplastamiento	24.244	70.646	34.32	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	2212
			9	2699

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	244x130x18	17.93
	Chapas	1	70x125x8	0.55
		1	280x465x18	18.40
Total				36.87

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	8	ISO 4014-M24x90
		3	ISO 4017-M12x35
Tuercas	Clase 8	3	ISO 4032-M12
		8	ISO 4032-M24
Arandelas	Dureza 200 HV	6	ISO 7089-12
		16	ISO 7089-24

TIPO 2 (Pilar con dintel y viga de atado en los pórticos intermedios)

a) Detalle

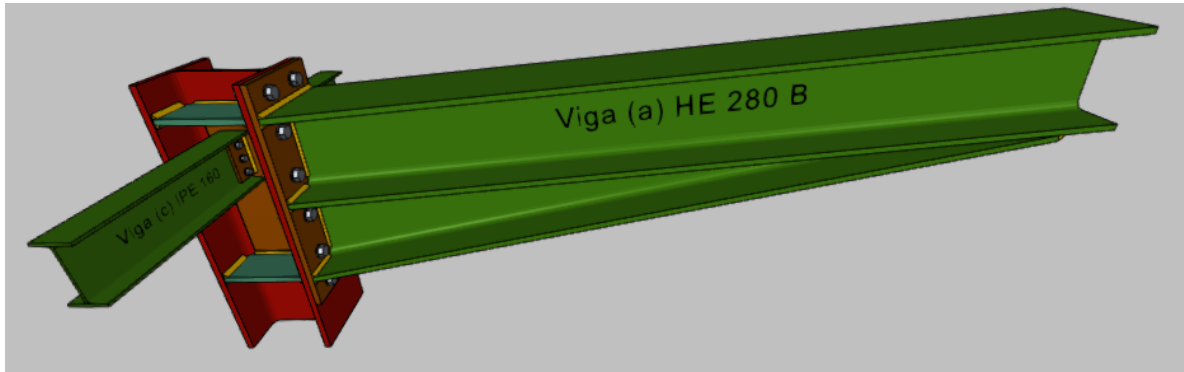


Figura 49. Unión tipo 2

a) Detalle

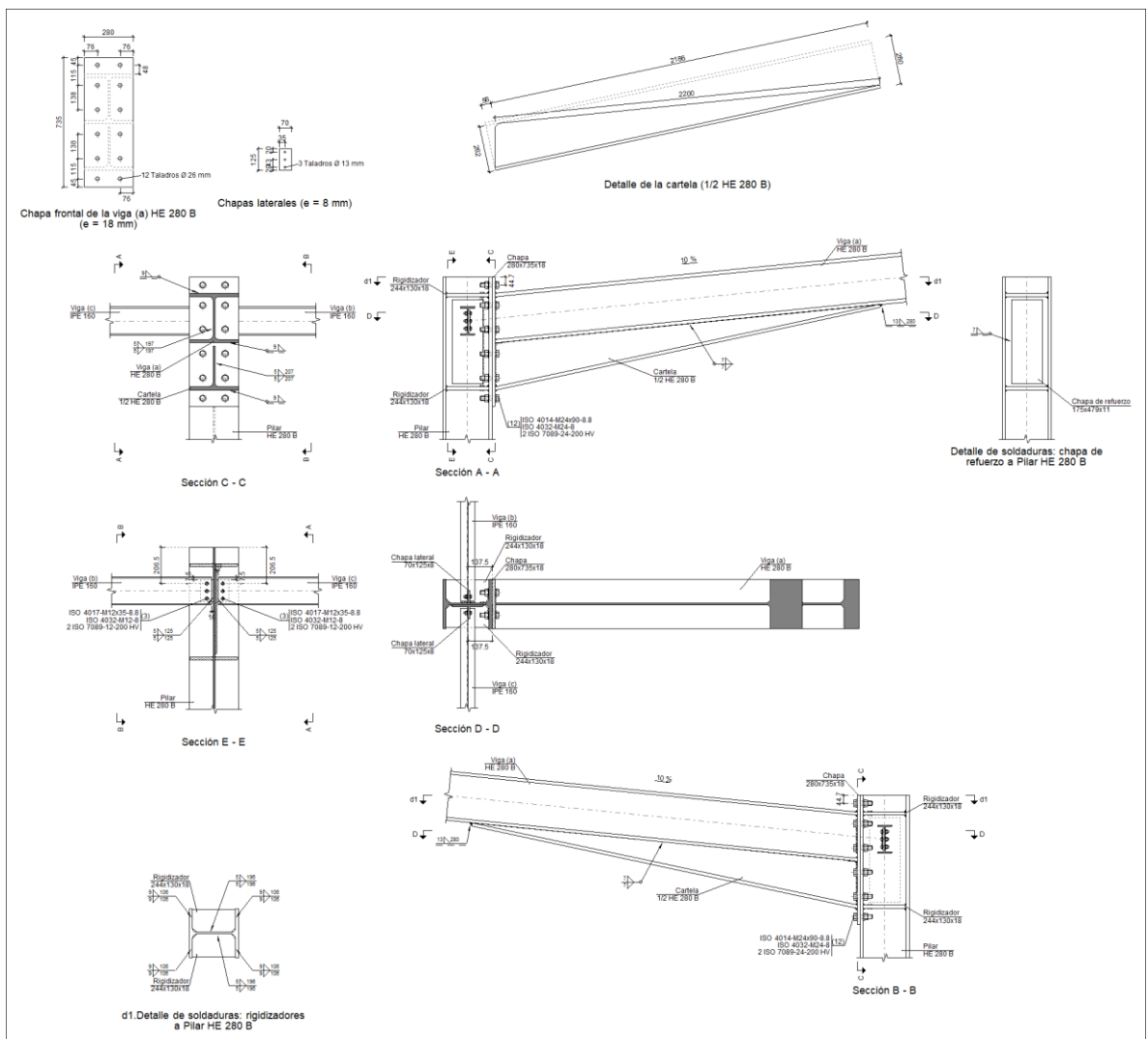
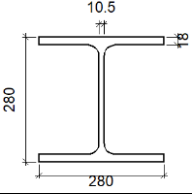
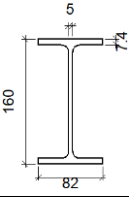
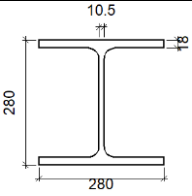
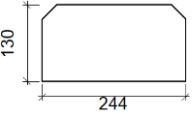
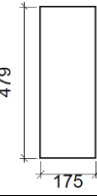
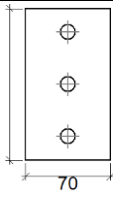
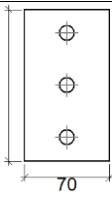
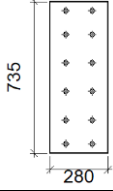


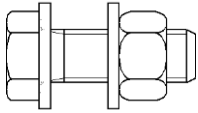
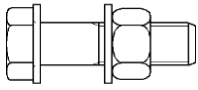
Figura 50. Descripción componentes unión tipo 2.

b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 160		160	82	7.4	5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Rigidizador		244	130	18	-	-	S275	275.0	410.0
Chapa de refuerzo		175	479	11	-	-	S275	275.0	410.0
Chapa lateral: Viga (c) IPE 160		70	125	8	3	13	S275	275.0	410.0
Chapa lateral: Viga (b) IPE 160		70	125	8	3	13	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Chapa frontal: Viga (a) HE 280 B		280	735	18	12	26	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Clase	Acero	
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)		f_v (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M12x35-8.8 ISO 4032-M12-8 2 ISO 7089-12-200 HV		M12	35	8.8	640.0	800.0
ISO 4014-M24x90-8.8 ISO 4032-M24-8 2 ISO 7089-24-200 HV		M24	90	8.8	640.0	800.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 280 B

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltez	--	--	--	35.91	
	Cortante	kN	1034.43	1569.20	65.92	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	112.67	261.90	43.02	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	125.92	261.90	48.08	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	112.67	261.90	43.02	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	125.92	261.90	48.08	
Ala	Desgarro	N/mm ²	175.76	261.90	67.11	
	Cortante	N/mm ²	196.19	261.90	74.91	
Viga (a) HE 280 B	Ala	Tracción por flexión	kN	228.72	329.60	69.39
		Tracción	kN	103.45	617.00	16.77
	Alma	Tracción	kN	111.87	227.75	49.12
Viga (c) IPE 160	Alma	Punzonamiento	kN	74.40	549.66	13.54
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	72.38	100.21	72.23
Viga (b) IPE 160	Alma	Punzonamiento	kN	74.40	549.66	13.54

		Flexión por fuerza perpendicular	kN	72.38	100.21	72.23
--	--	----------------------------------	----	-------	--------	-------

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura de la chapa de refuerzo al alma	En ángulo	7	1309	10.5	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ _∥ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	79.7	79.7	0.0	159.3	41.29	79.7	24.29	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	109.7	190.0	49.23	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	89.0	89.0	0.0	178.1	46.15	89.0	27.15	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	122.6	212.3	55.02	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	79.7	79.7	0.0	159.3	41.29	79.7	24.29	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	109.7	190.0	49.23	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	89.0	89.0	0.0	178.1	46.15	89.0	27.15	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	122.6	212.3	55.02	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa de refuerzo al alma	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Viga (a) HE 280 B

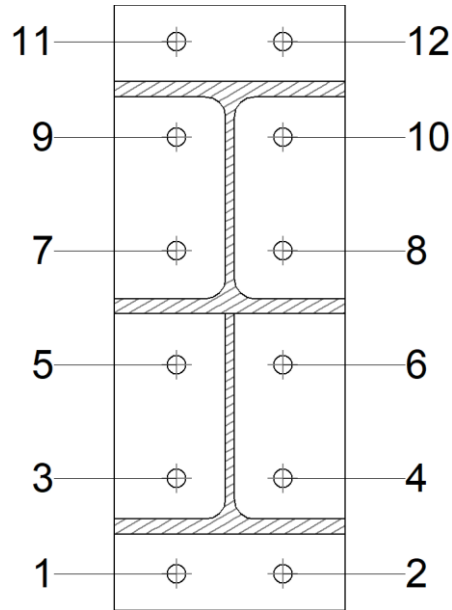
Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	228.72	291.45	78.48
Ala	Compresión	kN	560.80	1349.88	41.54
	Tracción	kN	165.75	615.77	26.92
Alma	Cargas concentradas en el alma	kN	76.86	639.11	12.03

	Tracción	kN	75.37	297.04	25.37
--	----------	----	-------	--------	-------

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	84.29				
Soldadura del alma	En ángulo	5	197	10.5	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	84.29				
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	5	225	10.5	90.00				
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	9	280	18.0	77.92				
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	7	2200	10.5	90.00				
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	13	280	18.0	83.63				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	78.2	70.8	0.2	145.4	37.69	78.2	23.85	410.0	0.85
Soldadura del alma	80.3	80.3	16.7	163.3	42.31	80.3	24.49	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	26.2	23.8	0.1	48.8	12.65	26.2	8.00	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	68.0	68.0	17.4	139.2	36.08	68.0	20.72	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	71.9	88.9	0.0	169.9	44.04	80.5	24.55	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	10.7	18.5	4.79	0.0	0.01	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	45	76	115	129	44.7
2	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	45	76	115	129	44.7
3	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	76	115	129	48.0
4	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	76	115	129	48.0
5	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	76	138	129	48.0
6	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	76	138	129	48.0
7	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	76	138	129	48.0
8	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	76	138	129	48.0
9	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	76	115	129	48.0
10	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	76	115	129	48.0
11	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	45	76	115	129	44.7
12	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	45	76	115	129	44.7

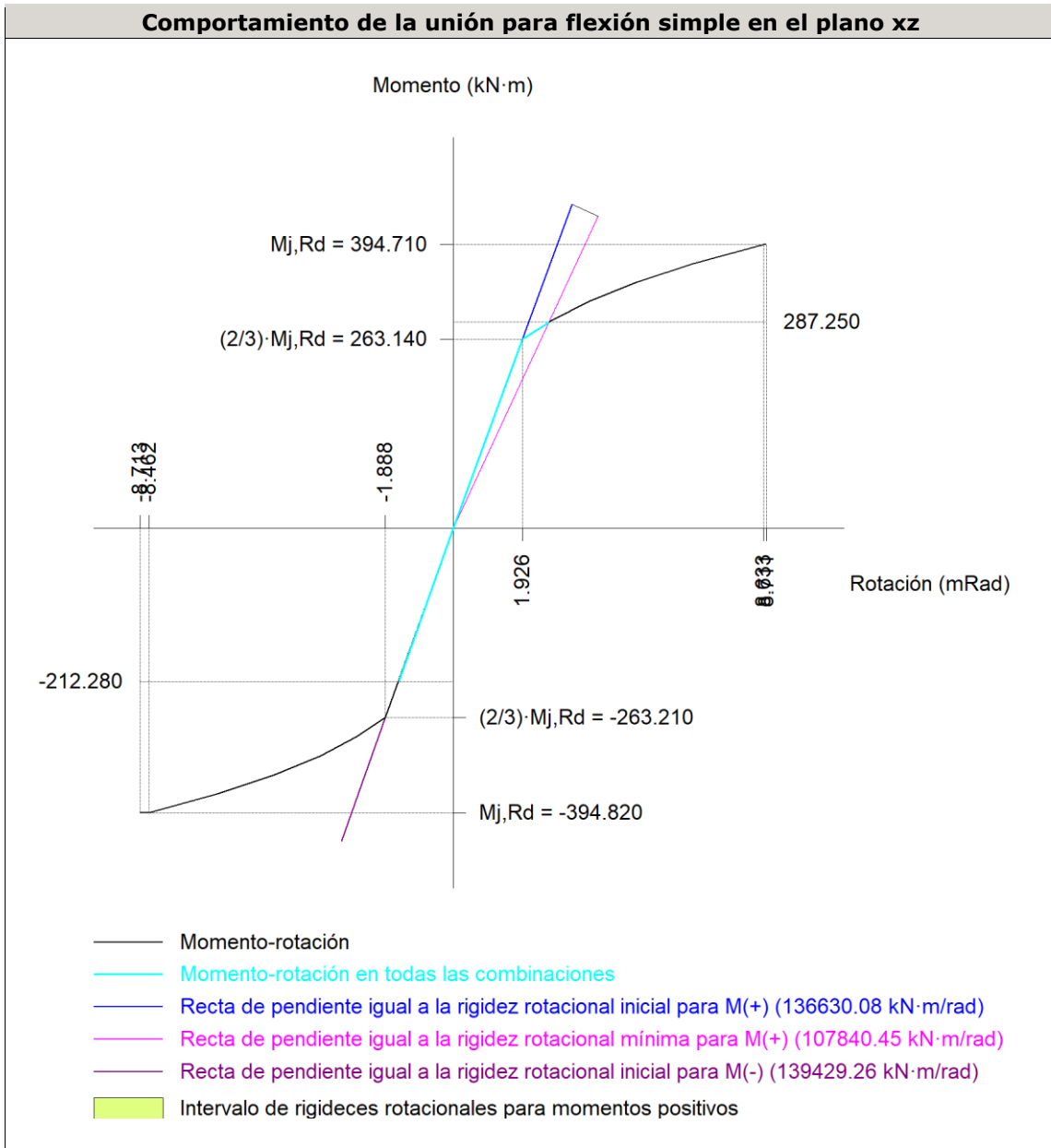
--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	20.823	144.765	14.38	Vástago	133.152	203.328	65.49	51.25	65.49
	Aplastamiento	20.823	354.240	5.88	Punzonamiento	133.152	420.390	31.67		
2	Sección transversal	20.823	144.765	14.38	Vástago	133.152	203.328	65.49	51.25	65.49
	Aplastamiento	20.823	354.240	5.88	Punzonamiento	133.152	420.390	31.67		
3	Sección transversal	20.823	144.765	14.38	Vástago	84.797	203.328	41.70	34.49	41.70

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
	Aplastamiento	20.823	354.240	5.88	Punzonamiento	84.797	420.390	20.17		
4	Sección transversal	20.823	144.765	14.38	Vástago	84.797	203.328	41.70	34.49	41.70
	Aplastamiento	20.823	354.240	5.88	Punzonamiento	84.797	420.390	20.17		
5	Sección transversal	7.610	144.765	5.26	Vástago	70.811	203.328	34.83	30.05	34.83
	Aplastamiento	7.610	351.323	2.17	Punzonamiento	70.811	420.390	16.84		
6	Sección transversal	7.610	144.765	5.26	Vástago	70.811	203.328	34.83	30.05	34.83
	Aplastamiento	7.610	351.323	2.17	Punzonamiento	70.811	420.390	16.84		
7	Sección transversal	8.607	144.765	5.95	Vástago	82.056	203.328	40.36	29.95	40.36
	Aplastamiento	8.607	349.690	2.46	Punzonamiento	82.056	420.390	19.52		
8	Sección transversal	8.607	144.765	5.95	Vástago	82.056	203.328	40.36	29.95	40.36
	Aplastamiento	8.607	349.690	2.46	Punzonamiento	82.056	420.390	19.52		
9	Sección transversal	9.790	144.765	6.76	Vástago	100.682	203.328	49.52	35.75	49.52
	Aplastamiento	9.790	348.379	2.81	Punzonamiento	100.682	420.390	23.95		
10	Sección transversal	9.790	144.765	6.76	Vástago	100.682	203.328	49.52	35.75	49.52
	Aplastamiento	9.790	348.379	2.81	Punzonamiento	100.682	420.390	23.95		
11	Sección transversal	36.668	144.765	25.33	Vástago	159.564	203.328	78.48	56.05	78.48
	Aplastamiento	36.668	354.240	10.35	Punzonamiento	159.564	420.390	37.96		
12	Sección transversal	36.668	144.765	25.33	Vástago	159.564	203.328	78.48	56.05	78.48
	Aplastamiento	36.668	354.240	10.35	Punzonamiento	159.564	420.390	37.96		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	56936.15	136630.08
Calculada para momentos negativos	56936.15	139429.26

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.31	1.80	72.84
Momento resistente	kNm	287.24	394.71	72.77
Capacidad de rotación	mRad	305.785	667	45.87

3) Viga (c) IPE 160

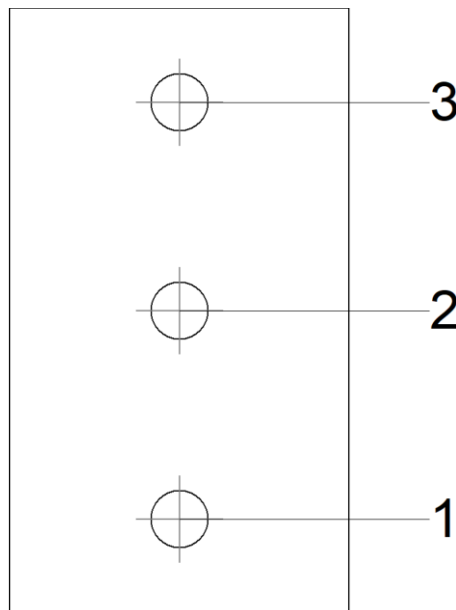
Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.13
	Tensiones combinadas	--	--	--	28.70
	Pandeo local	N/mm ²	72.97	241.98	30.16
	Aplastamiento	kN	24.97	70.64	35.35
	Desgarro	kN	74.40	104.03	71.52
Alma	Aplastamiento	kN	24.97	31.54	79.18

	Desgarro	kN	74.40	98.52	75.52
--	----------	----	-------	-------	-------

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	125	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	42.1	42.1	0.2	84.2	21.82	42.1	12.83	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición								
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)	
1	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5	
2	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	--	25	43	--	35.0	
3	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5	

--: La comprobación no procede.

Resistencia					
Tornillo	Cortante	Tracción		Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)

	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. v. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. v. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	24.973	26.976	92.57	Vástago	0.000	48.557	0.00	92.57	92.57
	Aplastamiento	24.973	70.642	35.35	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
2	Sección transversal	24.801	26.976	91.94	Vástago	0.000	48.557	0.00	91.94	91.94
	Aplastamiento	24.801	70.646	35.11	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
3	Sección transversal	24.675	26.976	91.47	Vástago	0.000	48.557	0.00	91.47	91.47
	Aplastamiento	24.675	70.646	34.93	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		

4) Viga (b) IPE 160

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.13
	Tensiones combinadas	--	--	--	28.70
	Pandeo local	N/mm ²	72.97	241.98	30.16
	Aplastamiento	kN	24.97	70.64	35.35
	Desgarro	kN	74.40	104.03	71.52
Alma	Aplastamiento	kN	24.97	31.54	79.18
	Desgarro	kN	74.40	98.52	75.52

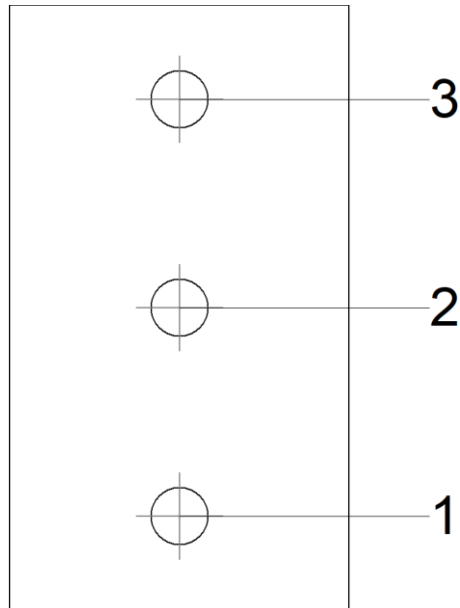
Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	125	8.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia										
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w	
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)			
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	42.1	42.1	0.2	84.2	21.82	42.1	12.83	410.0	0.85	

Comprobaciones para los tornillos



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5
2	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	--	25	43	--	35.0
3	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	24.973	26.976	92.57	Vástago	0.000	48.557	0.00	92.57	92.57
	Aplastamiento	24.973	70.642	35.35	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
2	Sección transversal	24.801	26.976	91.94	Vástago	0.000	48.557	0.00	91.94	91.94
	Aplastamiento	24.801	70.646	35.11	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
3	Sección transversal	24.675	26.976	91.47	Vástago	0.000	48.557	0.00	91.47	91.47
	Aplastamiento	24.675	70.646	34.93	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	2912
			7	5709
			9	3201
			13	280

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	244x130x18	17.93
	Chapas	2	70x125x8	1.10
		1	175x479x11	7.24
		1	280x735x18	29.08
	Total			

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	12	ISO 4014-M24x90
		6	ISO 4017-M12x35
Tuercas	Clase 8	6	ISO 4032-M12
		12	ISO 4032-M24
Arandelas	Dureza 200 HV	12	ISO 7089-12
		24	ISO 7089-24

TIPO 3 (Unión de los dinteles en cumbrera con pilarillo en pórticos hastiales)

a) Detalle

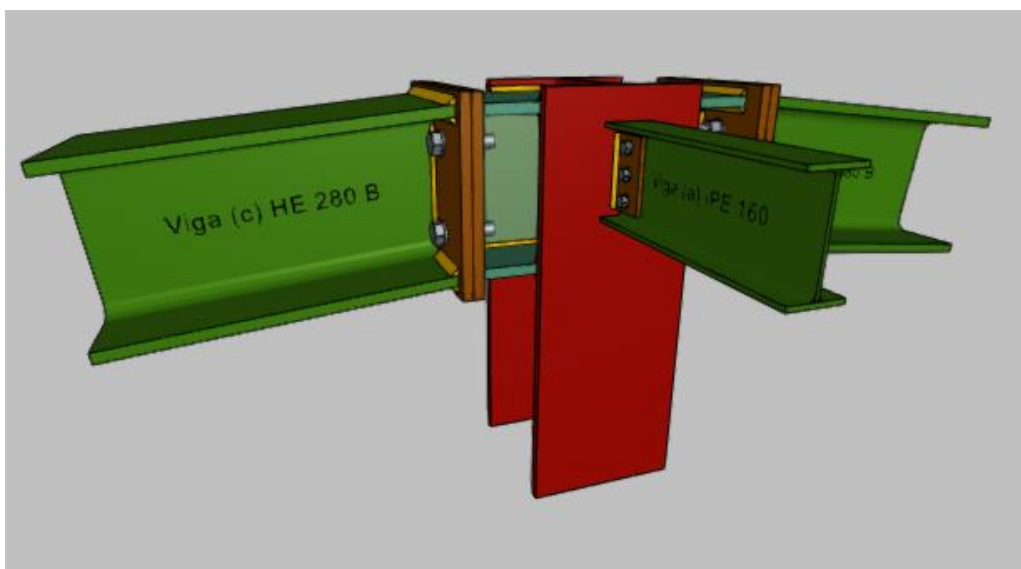


Figura 51. Unión tipo 3

a) Detalle

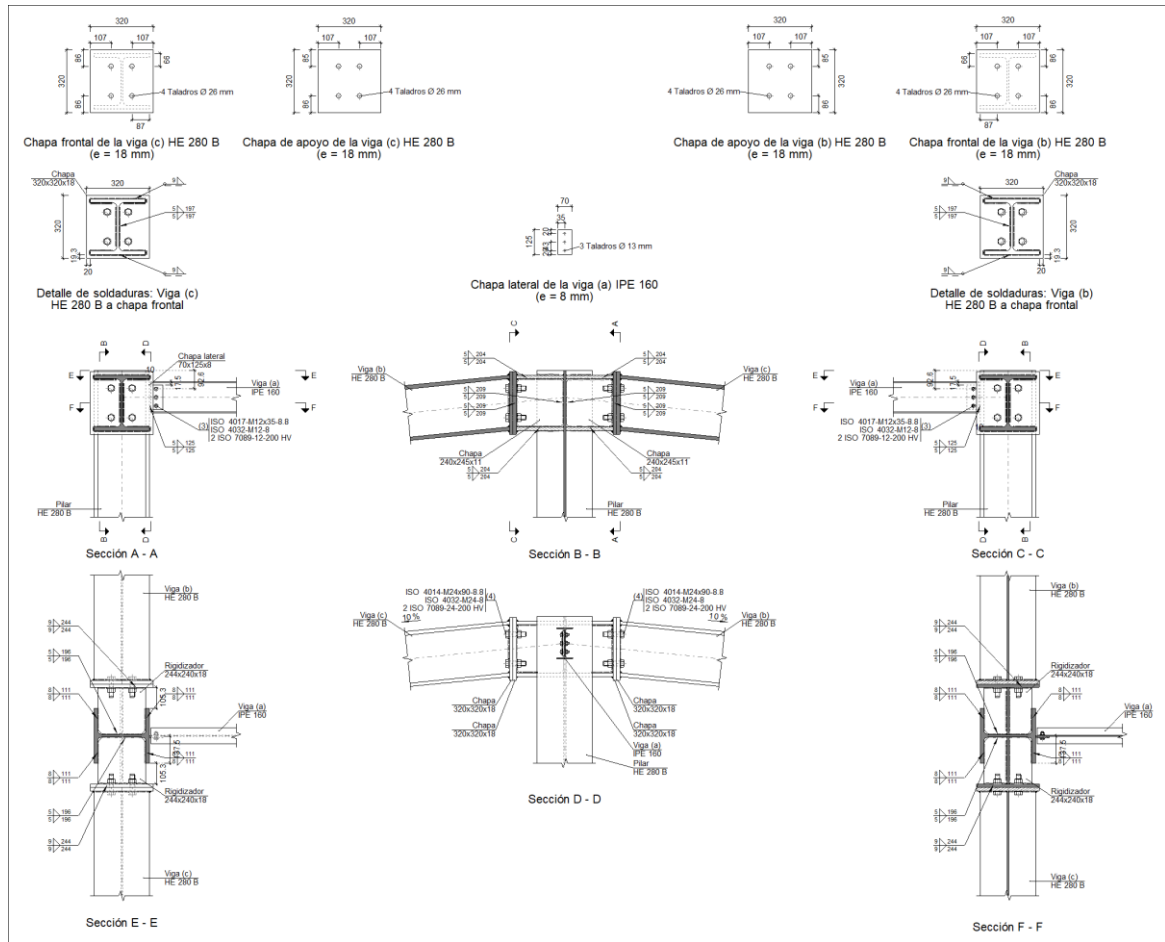
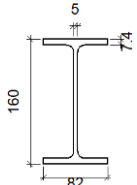
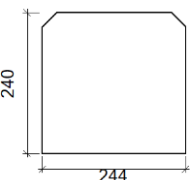
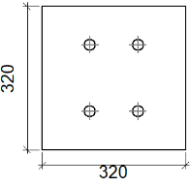
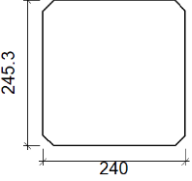
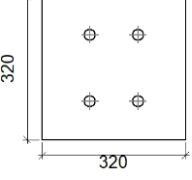
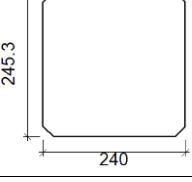
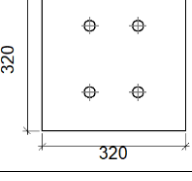


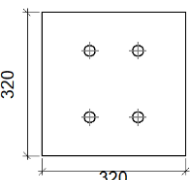
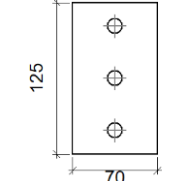
Figura 52. Descripción componentes unión tipo 3.

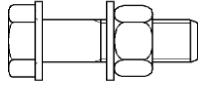
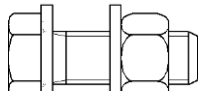
b) Descripción de los componentes de la unión

		Perfiles							
Pieza	Descripción	Geometría				Acero			
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f _v (MPa)	f _u (MPa)
Viga	IPE 160		160	82	7.4	5	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Esquema	Geometría			Taladros		Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f _v (MPa)	f _u (MPa)
Rigidizador		244	240	18	-	-	S275	275.0	410.0
Chapa de apoyo de la viga Viga (c) HE 280 B		320	320	18	4	26	S275	275.0	410.0
Chapa vertical de la viga Viga (c) HE 280 B		240	245.3	11	-	-	S275	275.0	410.0
Chapa de apoyo de la viga Viga (b) HE 280 B		320	320	18	4	26	S275	275.0	410.0
Chapa vertical de la viga Viga (b) HE 280 B		240	245.3	11	-	-	S275	275.0	410.0
Chapa frontal: Viga (c) HE 280 B		320	320	18	4	26	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Chapa frontal: Viga (b) HE 280 B		320	320	18	4	26	S275	275.0	410.0
Chapa lateral: Viga (a) IPE 160		70	125	8	3	13	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4014-M24x90-8.8 ISO 4032-M24-8 2 ISO 7089-24-200 HV		M24	90	8.8	640.0	800.0
ISO 4017-M12x35-8.8 ISO 4032-M12-8 2 ISO 7089-12-200 HV		M12	35	8.8	640.0	800.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 280 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltez	--	--	--	35.91
	Cortante	kN	16.33	401.97	4.06
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	84.28	261.90	32.18
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	79.73	261.90	30.44
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	84.28	261.90	32.18
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	79.73	261.90	30.44
Chapa frontal [Viga (c) HE 280 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00

		Deformación admisible	mRad	--	2	0.00
	Chapa vertical [Viga (c) HE 280 B]	Cortante	kN	156.11	339.32	46.01
	Chapa frontal [Viga (b) HE 280 B]	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
		Deformación admisible	mRad	--	2	0.00
	Chapa vertical [Viga (b) HE 280 B]	Cortante	kN	156.11	339.32	46.01
	Ala	Desgarro	N/mm ²	42.12	261.90	16.08
		Cortante	N/mm ²	49.98	261.90	19.08
Viga (c) HE 280 B	Rigidizadores	Tracción	kN	59.79	563.33	10.61
	Chapa de apoyo	Tracción por flexión	kN	227.78	331.76	68.66
	Chapa vertical	Tracción	kN	109.07	318.24	34.27
Viga (b) HE 280 B	Rigidizadores	Tracción	kN	59.79	563.33	10.61
	Chapa de apoyo	Tracción por flexión	kN	227.78	331.76	68.66
	Chapa vertical	Tracción	kN	109.07	318.24	34.27

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	111	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	9	320	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	111	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	9	320	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	111	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	9	320	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	111	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	9	320	18.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	5	209	10.5	90.00	
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	5	209	11.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	5	204	11.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	5	204	11.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	5	209	10.5	90.00	
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	5	209	11.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	5	204	11.0	90.00	
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	5	204	11.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia						
-----------------------------	--	--	--	--	--	--

Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.0	0.0	54.7	94.8	24.57	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	4.4	7.7	1.99	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	6.5	6.5	1.4	13.2	3.42	6.5	1.98	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	51.8	89.7	23.24	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	4.8	8.3	2.16	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	8.5	8.5	1.2	17.1	4.43	8.5	2.59	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.0	0.0	54.7	94.8	24.57	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	4.4	7.7	1.99	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	6.5	6.5	1.4	13.2	3.42	6.5	1.98	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	51.8	89.7	23.24	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	4.8	8.3	2.16	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	8.5	8.5	1.2	17.1	4.43	8.5	2.59	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	5.1	8.8	2.29	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	5.1	8.8	2.29	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	76.5	132.6	34.35	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	68.4	118.5	30.71	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	5.1	8.8	2.29	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	5.1	8.8	2.29	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	76.5	132.6	34.35	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	68.4	118.5	30.71	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga (a) IPE 160

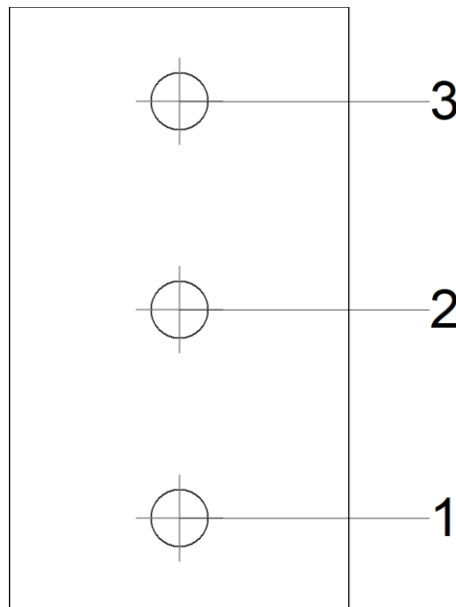
Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.13

	Tensiones combinadas	--	--	--	4.18
	Pandeo local	N/mm ²	10.92	241.98	4.51
	Aplastamiento	kN	3.57	70.64	5.05
	Desgarro	kN	10.08	104.03	9.69
Alma	Aplastamiento	kN	3.57	49.20	7.25
	Desgarro	kN	10.08	98.52	10.23

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	125	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	5.7	5.7	0.4	11.4	2.96	5.7	1.74	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5
2	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	--	25	43	--	35.0
3	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	3.220	26.976	11.94	Vástago	0.000	48.557	0.00	11.94	11.94
	Aplastamiento	3.220	70.570	4.56	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
2	Sección transversal	3.361	26.976	12.46	Vástago	0.000	48.557	0.00	12.46	12.46
	Aplastamiento	3.361	70.636	4.76	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
3	Sección transversal	3.567	26.976	13.22	Vástago	0.000	48.557	0.00	13.22	13.22
	Aplastamiento	3.567	70.638	5.05	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		

3) Viga (c) HE 280 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	227.78	331.21	68.77
Ala	Compresión	kN	108.37	313.79	34.54
	Tracción	kN	60.19	562.96	10.69
Alma	Tracción	kN	108.28	306.19	35.36

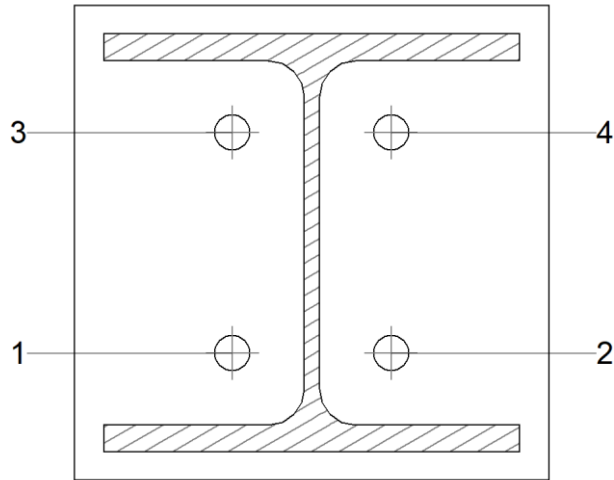
Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	84.29	
Soldadura del alma	En ángulo	5	197	10.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	84.29	

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	56.5	62.4	1.6	122.0	31.62	62.5	19.07	410.0	0.85
Soldadura del alma	98.5	98.5	4.5	197.2	51.09	98.5	30.03	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	57.5	63.5	1.1	124.2	32.19	63.7	19.41	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	149	107	48.0
2	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	149	107	48.0
3	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	149	107	48.0
4	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	149	107	48.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	5.028	144.765	3.47	Vástago	137.864	203.328	67.80	51.05	67.80
	Aplastamiento	5.028	354.240	1.42	Punzonamiento	137.864	420.390	32.79		
2	Sección transversal	4.912	144.765	3.39	Vástago	95.819	203.328	47.13	35.93	47.13
	Aplastamiento	4.912	354.240	1.39	Punzonamiento	95.819	420.390	22.79		
3	Sección transversal	4.740	144.765	3.27	Vástago	139.836	203.328	68.77	52.18	68.77
	Aplastamiento	4.740	354.240	1.34	Punzonamiento	139.836	420.390	33.26		
4	Sección transversal	5.032	144.765	3.48	Vástago	79.870	203.328	39.28	30.92	39.28
	Aplastamiento	5.032	354.240	1.42	Punzonamiento	79.870	420.390	19.00		

Ala	Compresión	kN	108.37	313.79	34.54
	Tracción	kN	60.19	562.96	10.69
Alma	Tracción	kN	108.28	306.19	35.36

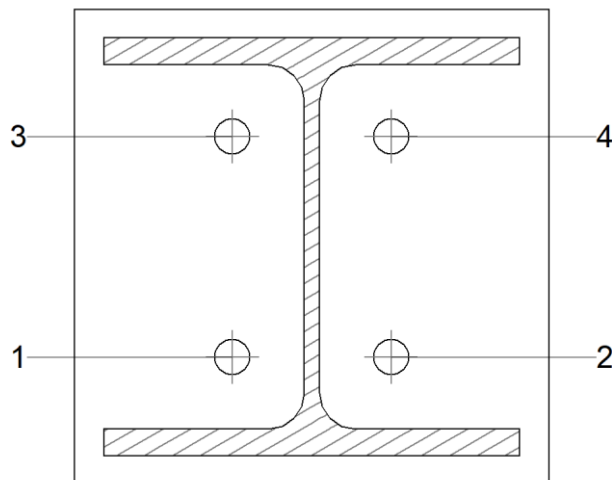
Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	84.29	
Soldadura del alma	En ángulo	5	197	10.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	84.29	

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	56.5	62.4	1.6	122.0	31.62	62.5	19.07	410.0	0.85
Soldadura del alma	98.5	98.5	4.5	197.2	51.09	98.5	30.03	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	57.5	63.5	1.1	124.2	32.19	63.7	19.41	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



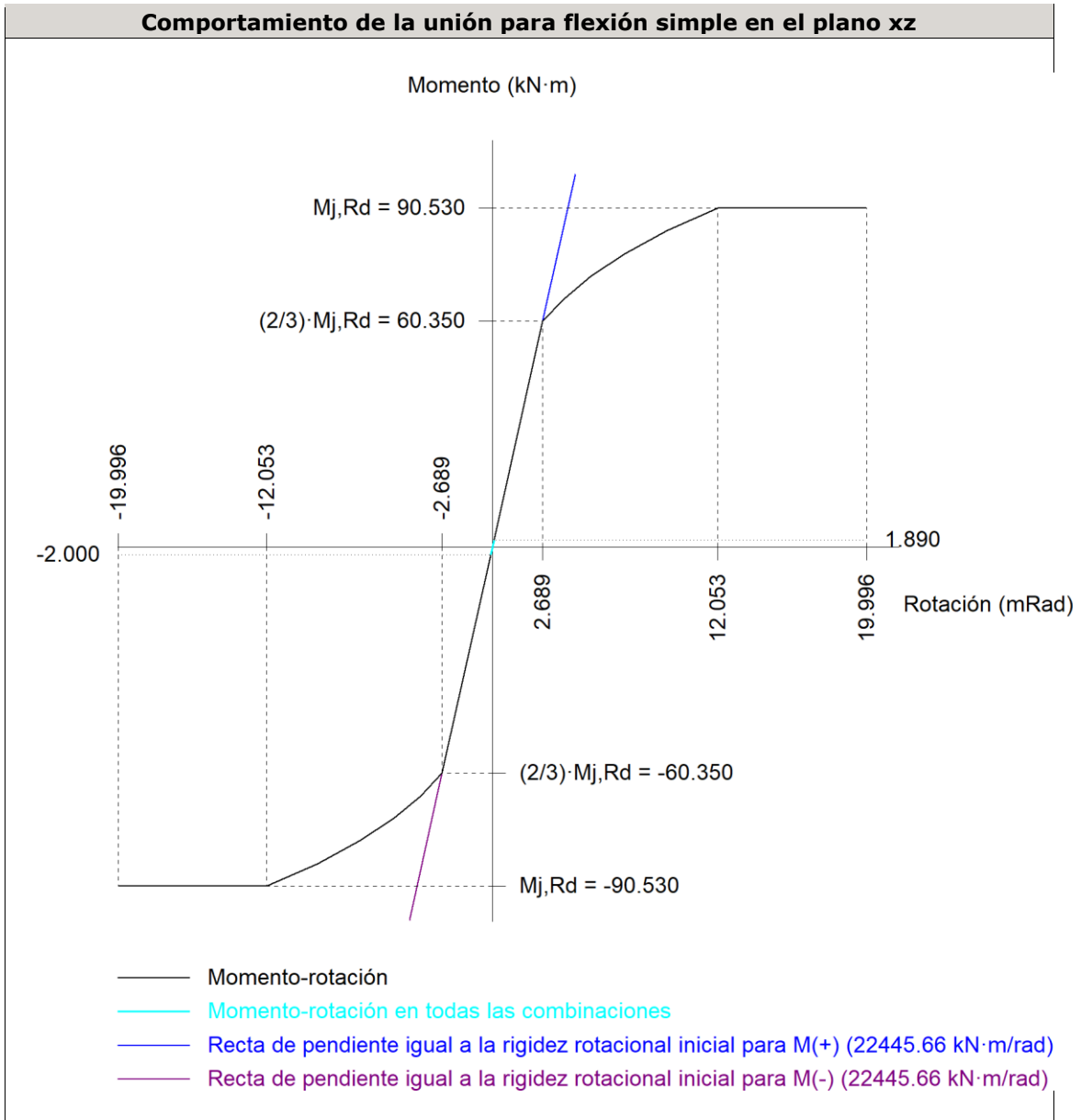
Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	149	107	48.0
2	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	149	107	48.0
3	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	149	107	48.0
4	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	149	107	48.0

Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
--: La comprobación no procede.							

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	4.912	144.765	3.39	Vástago	95.819	203.328	47.13	35.93	47.13
	Aplastamiento	4.912	354.240	1.39	Punzonamiento	95.819	420.390	22.79		
2	Sección transversal	5.028	144.765	3.47	Vástago	137.864	203.328	67.80	51.05	67.80
	Aplastamiento	5.028	354.240	1.42	Punzonamiento	137.864	420.390	32.79		
3	Sección transversal	5.032	144.765	3.48	Vástago	79.870	203.328	39.28	30.92	39.28
	Aplastamiento	5.032	354.240	1.42	Punzonamiento	79.870	420.390	19.00		
4	Sección transversal	4.740	144.765	3.27	Vástago	139.836	203.328	68.77	52.18	68.77
	Aplastamiento	4.740	354.240	1.34	Punzonamiento	139.836	420.390	33.26		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	35450.72	22445.66
Calculada para momentos negativos	35450.72	22445.66

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.31	1.80	72.84
Momento resistente	kNm	2.00	90.53	2.20
Capacidad de rotación	mRad	4.446	667	0.67

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	5912
			8	1772
			9	4711

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	244x240x18	33.10
	Chapas	1	70x125x8	0.55
		2	240x245x11	10.17
		4	320x320x18	57.88
	Total			

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	8	ISO 4014-M24x90
		3	ISO 4017-M12x35
Tuercas	Clase 8	3	ISO 4032-M12
		8	ISO 4032-M24
Arandelas	Dureza 200 HV	6	ISO 7089-12
		16	ISO 7089-24

TIPO 4 (Unión de los dinteles en cumbrera en pórticos intermedios)

a) Detalle



Figura 53. Unión tipo 4

a) Detalle

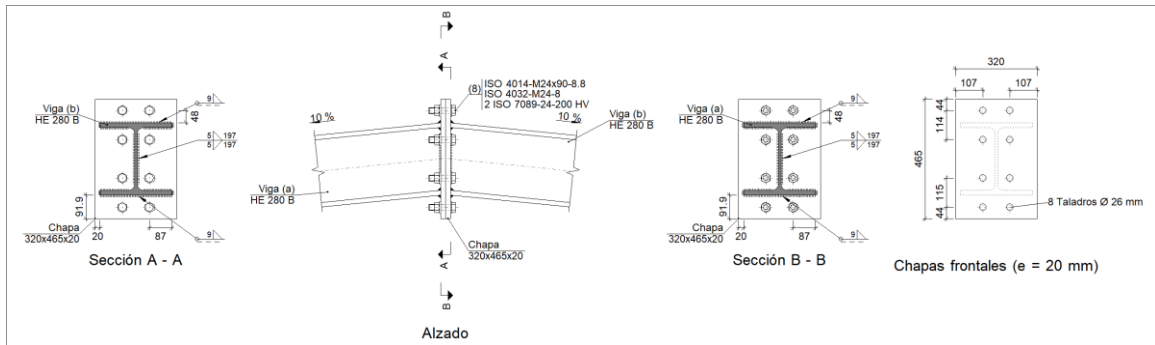
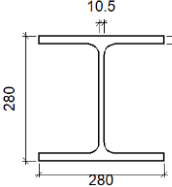
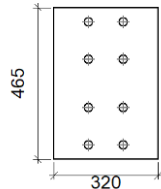
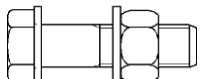


Figura 54. Descripción componentes unión tipo 4.

b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Viga	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Chapa frontal		320	465	20	8	26	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería							
Descripción	Geometría			Acero			
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)	
ISO 4014-M24x90-8.8 ISO 4032-M24-8 2 ISO 7089-24-200 HV		M24	90	8.8	640.0	800.0	

c) Comprobación

1) Viga (a) HE 280 B

Comprobaciones de resistencia

Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	265.23	317.85	83.44
Ala	Aplastamiento	kN	478.06	1326.58	36.04
	Tracción	kN	175.16	561.37	31.20
Alma	Tracción	kN	76.90	304.86	25.22

Cordones de soldadura

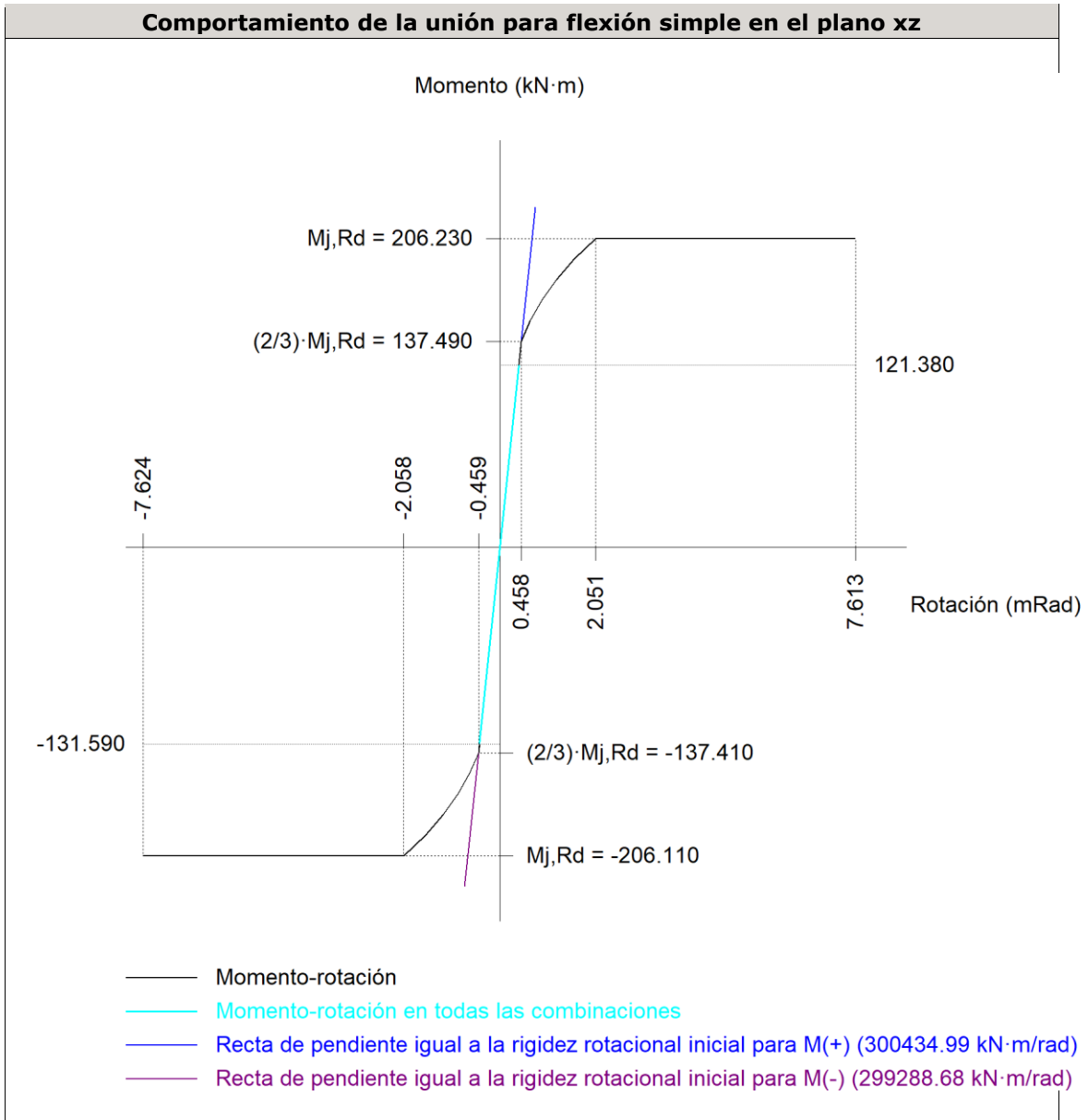
Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	84.29	
Soldadura del alma	En ángulo	5	197	10.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	84.29	

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	81.3	89.9	0.4	175.6	45.51	81.3	24.79	410.0	0.85
Soldadura del alma	69.8	69.8	5.4	139.9	36.25	69.8	21.27	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	82.6	74.8	0.1	153.6	39.81	82.6	25.19	410.0	0.85

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	294971.20	300434.99
Calculada para momentos negativos	294971.20	299288.68

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.06	1.80	59.15
Momento resistente	kNm	131.59	206.11	63.85
Capacidad de rotación	mRad	57.668	667	8.65

2) Viga (b) HE 280 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	265.23	317.85	83.44
Ala	Compresión	kN	478.06	1326.58	36.04
	Tracción	kN	175.16	561.37	31.20
Alma	Tracción	kN	76.90	304.86	25.22

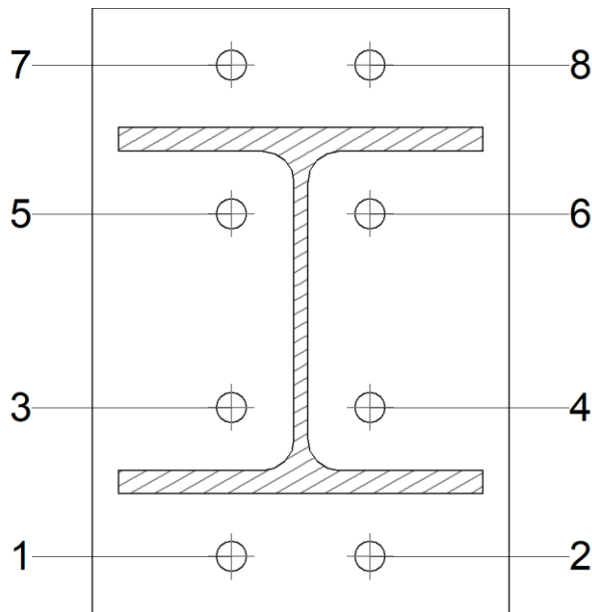
Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	84.29
Soldadura del alma	En ángulo	5	197	10.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	84.29

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	81.3	89.9	0.4	175.6	45.51	81.3	24.79	410.0	0.85
Soldadura del alma	69.8	69.8	5.4	139.9	36.25	69.8	21.27	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	82.6	74.8	0.1	153.6	39.81	82.6	25.19	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



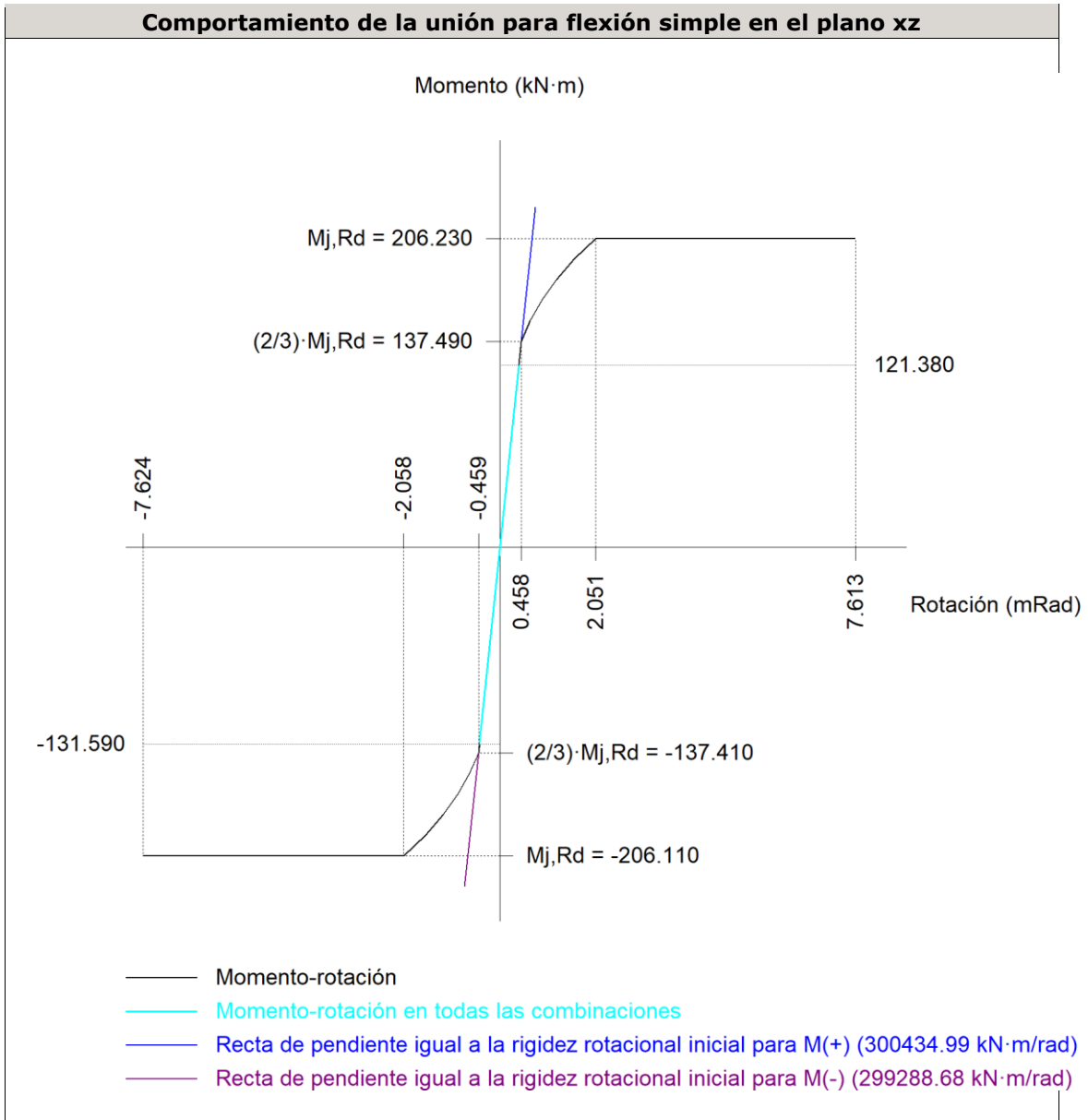
Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	44	107	115	107	43.7
2	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	44	107	115	107	43.7
3	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	115	107	48.0
4	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	115	107	48.0
5	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	114	107	48.0
6	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	114	107	48.0
7	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	44	107	114	107	43.7
8	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	44	107	114	107	43.7

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	8.870	144.765	6.13	Vástago	169.667	203.328	83.44	59.60	83.44
	Aplastamiento	8.870	220.426	4.02	Punzonamiento	169.667	467.100	36.32		
2	Sección transversal	8.870	144.765	6.13	Vástago	169.667	203.328	83.44	59.60	83.44
	Aplastamiento	8.870	220.426	4.02	Punzonamiento	169.667	467.100	36.32		
3	Sección transversal	2.252	144.765	1.56	Vástago	80.997	203.328	39.84	28.45	39.84
	Aplastamiento	2.252	393.600	0.57	Punzonamiento	80.997	467.100	17.34		
4	Sección transversal	2.252	144.765	1.56	Vástago	80.997	203.328	39.84	28.45	39.84
	Aplastamiento	2.252	393.600	0.57	Punzonamiento	80.997	467.100	17.34		
5	Sección transversal	2.253	144.765	1.56	Vástago	79.680	203.328	39.19	28.19	39.19
	Aplastamiento	2.253	393.600	0.57	Punzonamiento	79.680	467.100	17.06		
6	Sección transversal	2.253	144.765	1.56	Vástago	79.680	203.328	39.19	28.19	39.19
	Aplastamiento	2.253	393.600	0.57	Punzonamiento	79.680	467.100	17.06		
7	Sección transversal	9.737	144.765	6.73	Vástago	165.267	203.328	81.28	58.25	81.28
	Aplastamiento	9.737	220.426	4.42	Punzonamiento	165.267	467.100	35.38		
8	Sección transversal	9.737	144.765	6.73	Vástago	165.267	203.328	81.28	58.25	81.28
	Aplastamiento	9.737	220.426	4.42	Punzonamiento	165.267	467.100	35.38		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	294971.20	300434.99
Calculada para momentos negativos	294971.20	299288.68

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.06	1.80	59.15
Momento resistente	kNm	131.59	206.11	63.85
Capacidad de rotación	mRad	57.668	667	8.65

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	788
			9	2151

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Chapas	2	320x465x20	46.72
	Total			46.72

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	8	ISO 4014-M24x90
Tuercas	Clase 8	8	ISO 4032-M24
Arandelas	Dureza 200 HV	16	ISO 7089-24

TIPO 5 (Unión pilarillo con dintel)

a) Detalle

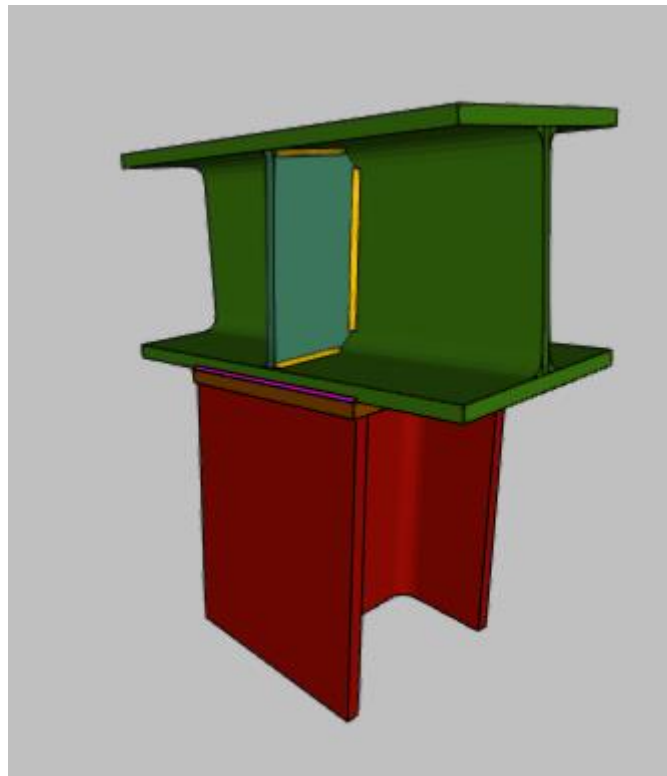


Figura 55. Unión tipo 5

a) Detalle

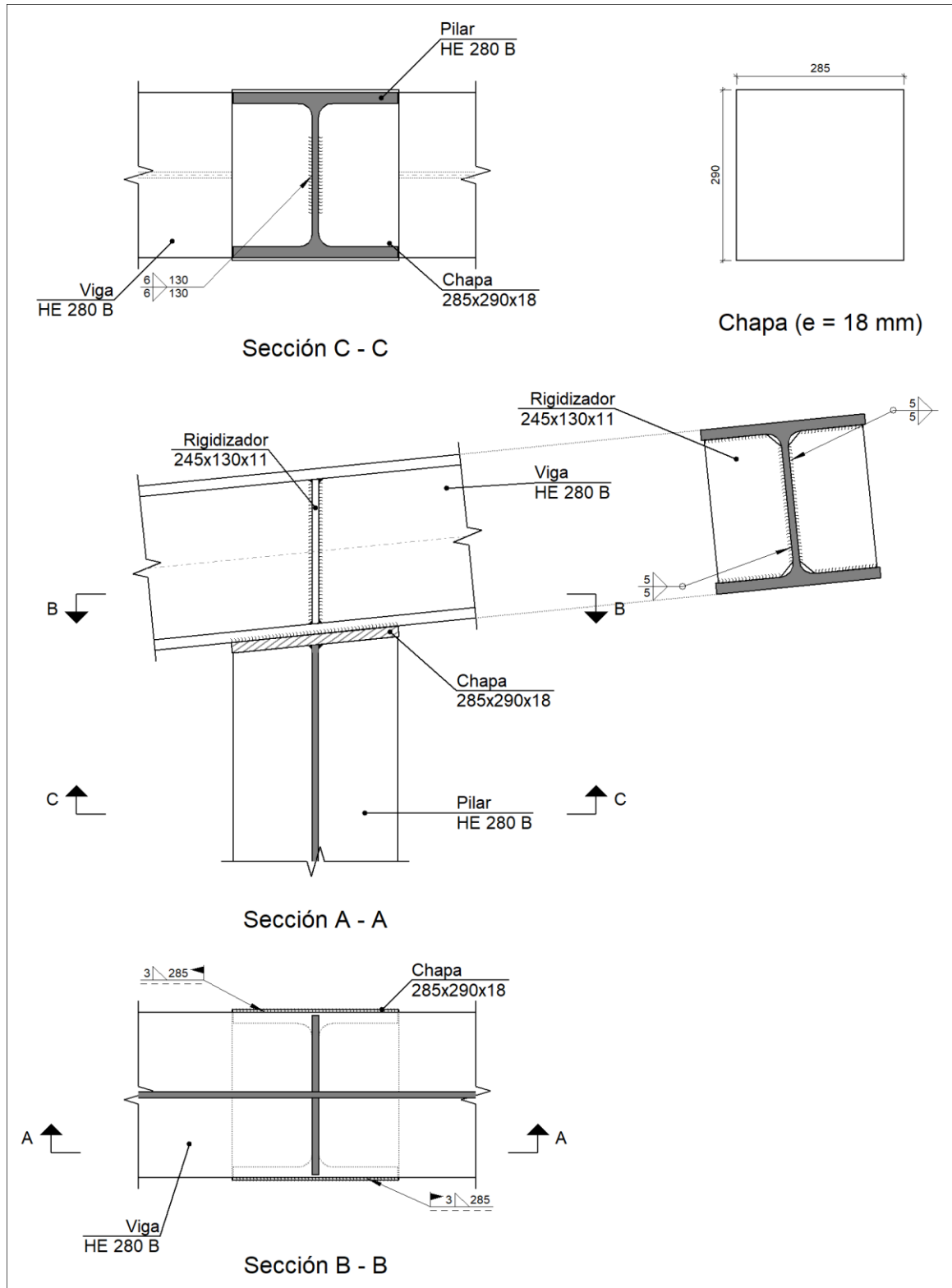
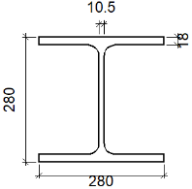
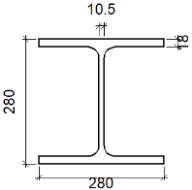
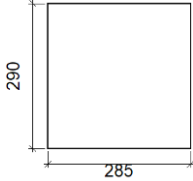
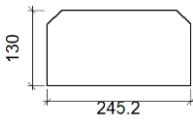


Figura 56. Descripción componentes unión tipo 5.

b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios							
Pieza	Geometría				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Chapa frontal		285	290	18	S275	275.0	410.0
Rigidizador		245.2	130	11	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Viga HE 280 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Rigidizadores	Cortante	kN	41.11	389.58	10.55
	Tracción	kN	41.11	342.83	11.99

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador al alma	En ángulo	5	197	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador a las alas	En ángulo	5	101	10.5	84.29
Soldadura de la chapa a los bordes exteriores del ala	En ángulo	3	290	18.0	90.00

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (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 ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador al alma	0.0	0.0	20.8	36.1	9.36	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador a las alas	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de la chapa a los bordes exteriores del ala	33.2	33.2	2.6	66.6	17.27	33.2	10.13	410.0	0.85

2) Pilar HE 280 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tensiones combinadas	--	--	--	9.90
Alma	Pandeo local	N/mm ²	17.54	261.90	6.70

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del alma	En ángulo	6	130	10.6	84.29				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	18.2	24.5	22.0	59.9	15.53	26.5	8.09	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	5	1637
			6	260
	En e□ lugar de montaje	En ángulo	3	570

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	2	245x130x11	5.51
	Chapas	1	285x290x18	11.68
	Total			17.18

TIPO 6 (Unión pilarillo con dintel de puerta principal)

a) Detalle

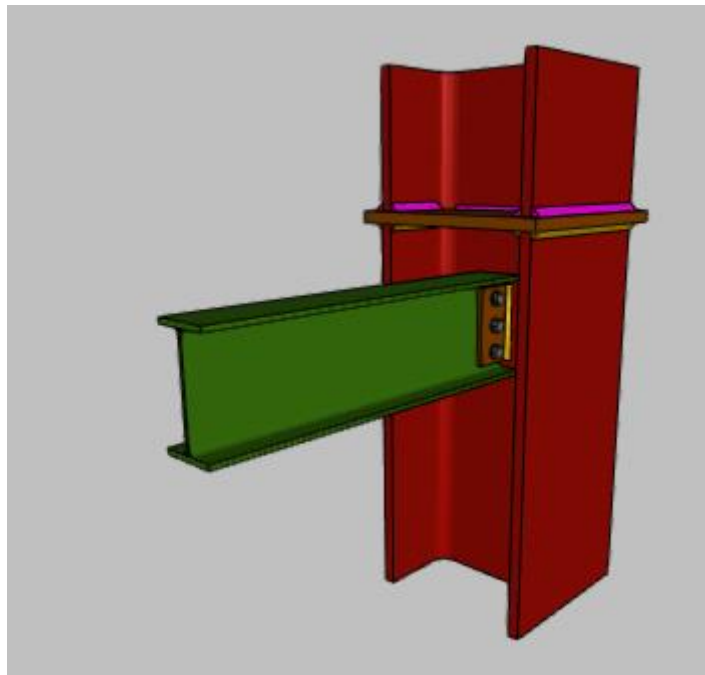


Figura 57. Unión tipo 6.

a) Detalle

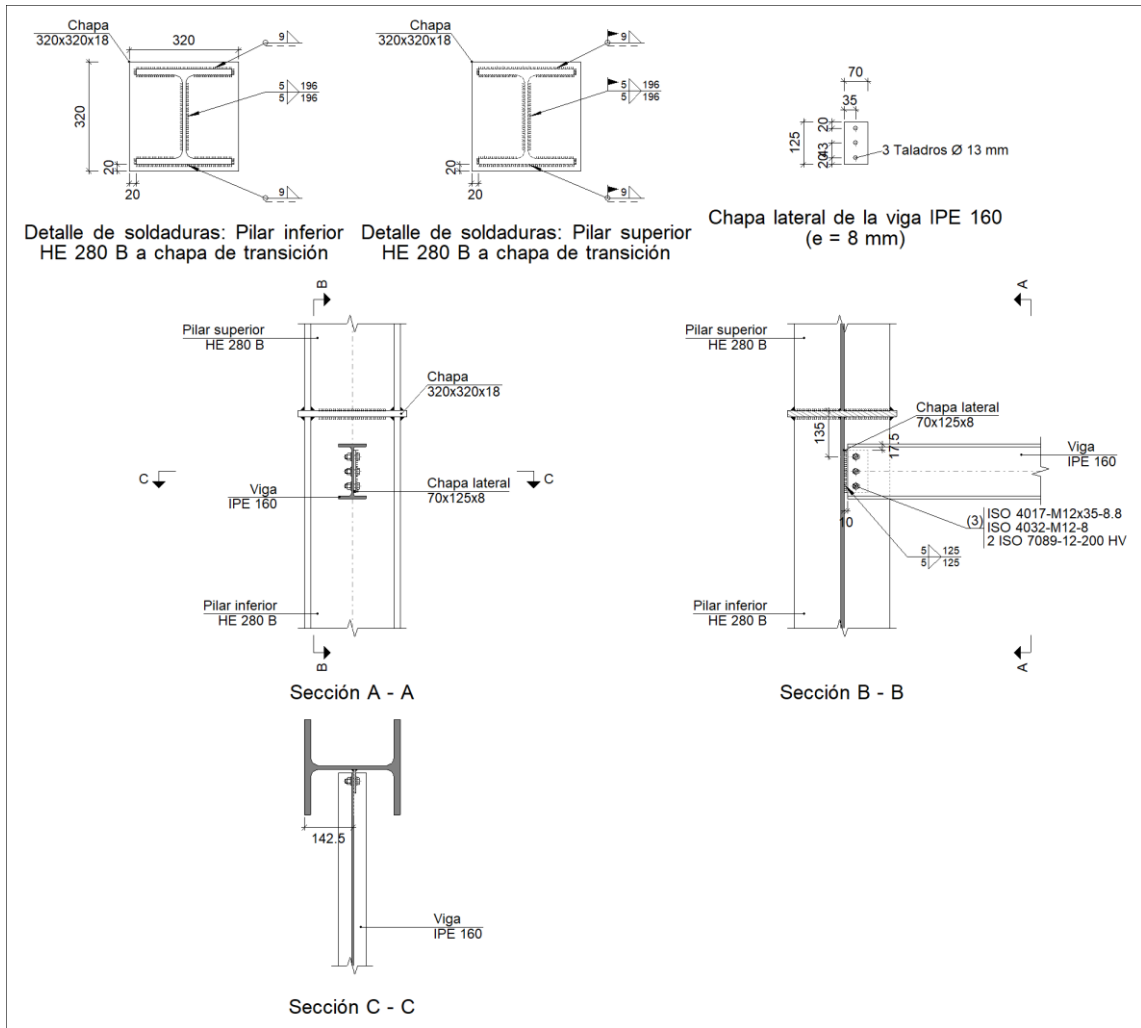
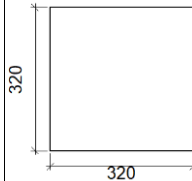
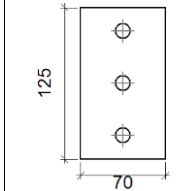
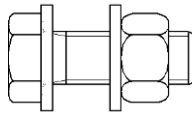


Figura 58. Descripción componentes unión tipo 6.

b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 160		160	82	7.4	5	S275	275.0	410.0

Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Chapa de transición		320	320	18	-	-	S275	275.0	410.0
Chapa lateral: Viga IPE 160		70	125	8	3	13	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M12x35-8.8 ISO 4032-M12-8 2 ISO 7089-12-200 HV		M12	35	8.8	640.0	800.0

c) Comprobación

1) Chapa de transición

Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.00
Deformación admisible	mRad	--	2	0.00

2) Pilar superior HE 280 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	90.00	

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia								
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)		

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	61.4	61.4	0.2	122.9	31.84	61.4	18.73	410.0	0.85
Soldadura del alma	42.0	42.0	0.8	84.0	21.76	42.0	12.80	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	61.4	61.4	0.2	122.9	31.84	61.4	18.73	410.0	0.85

3) Pilar inferior HE 280 B

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Viga IPE 160	Alma	Punzonamiento	kN	0.34	549.66	0.06
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	0.37	162.06	0.23

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	90.00	

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	61.4	61.4	0.2	122.9	31.84	61.4	18.73	410.0	0.85
Soldadura del alma	42.0	42.0	0.8	84.0	21.76	42.0	12.80	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	61.4	61.4	0.2	122.9	31.84	61.4	18.73	410.0	0.85

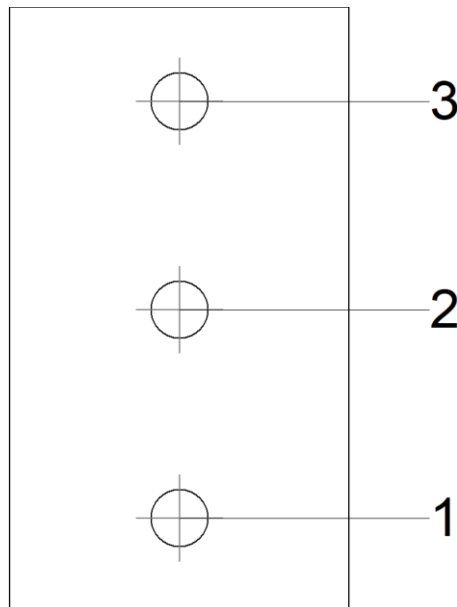
4) Viga IPE 160

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.13
	Tensiones combinadas	--	--	--	0.58
	Pandeo local	N/mm ²	1.22	241.98	0.50
	Aplastamiento	kN	0.38	58.31	0.65
	Desgarro	kN	0.64	104.03	0.62
Alma	Aplastamiento	kN	0.38	33.09	1.15
	Desgarro	kN	0.64	98.52	0.65

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	125	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	0.2	0.2	0.4	0.8	0.22	0.2	0.06	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5
2	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	--	25	43	--	35.0
3	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	0.380	26.976	1.41	Vástago	0.000	48.557	0.00	1.41	1.41
	Aplastamiento	0.380	58.315	0.65	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
2	Sección transversal	0.214	26.976	0.79	Vástago	0.000	48.557	0.00	0.79	0.79
	Aplastamiento	0.214	68.250	0.31	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
3	Sección transversal	0.373	26.976	1.38	Vástago	0.000	48.557	0.00	1.38	1.38
	Aplastamiento	0.373	69.828	0.53	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	642
			9	1075
	En el lugar de montaje	En ángulo	5	392
			9	1075

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Chapas	1	70x125x8	0.55
		1	320x320x18	14.47
				Total

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	3	ISO 4017-M12x35
Tuercas	Clase 8	3	ISO 4032-M12
Arandelas	Dureza 200 HV	6	ISO 7089-12

TIPO 7 (Unión ménsula con pilares intermedios)

a) Detalle

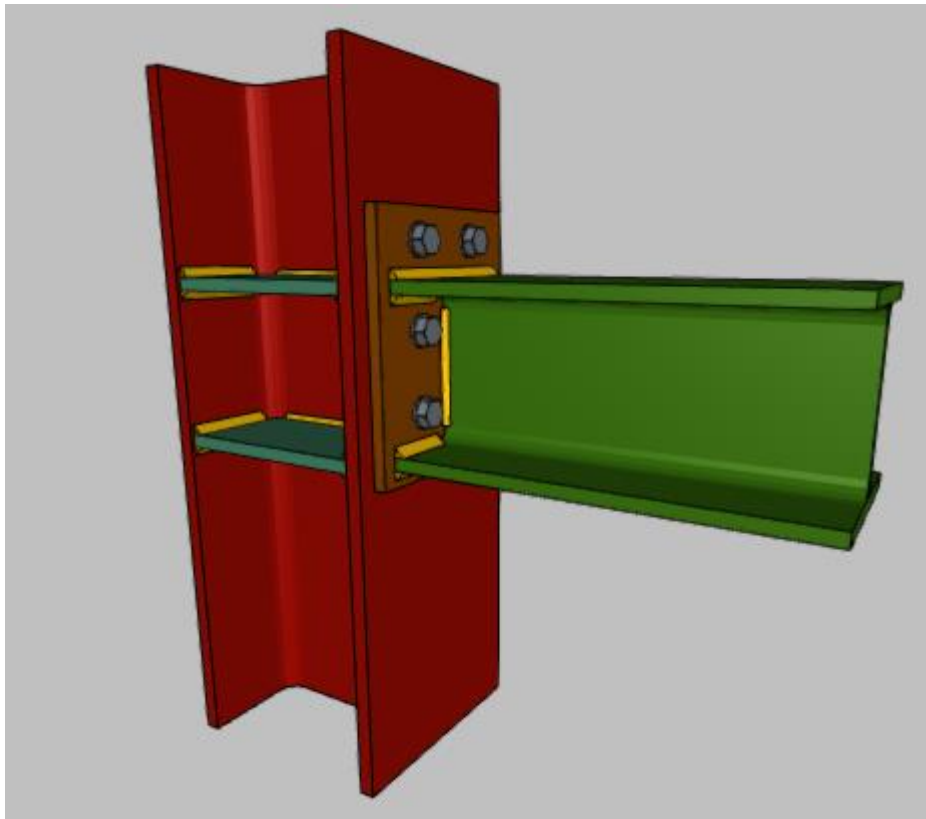


Figura 59. Unión tipo 7

a) Detalle

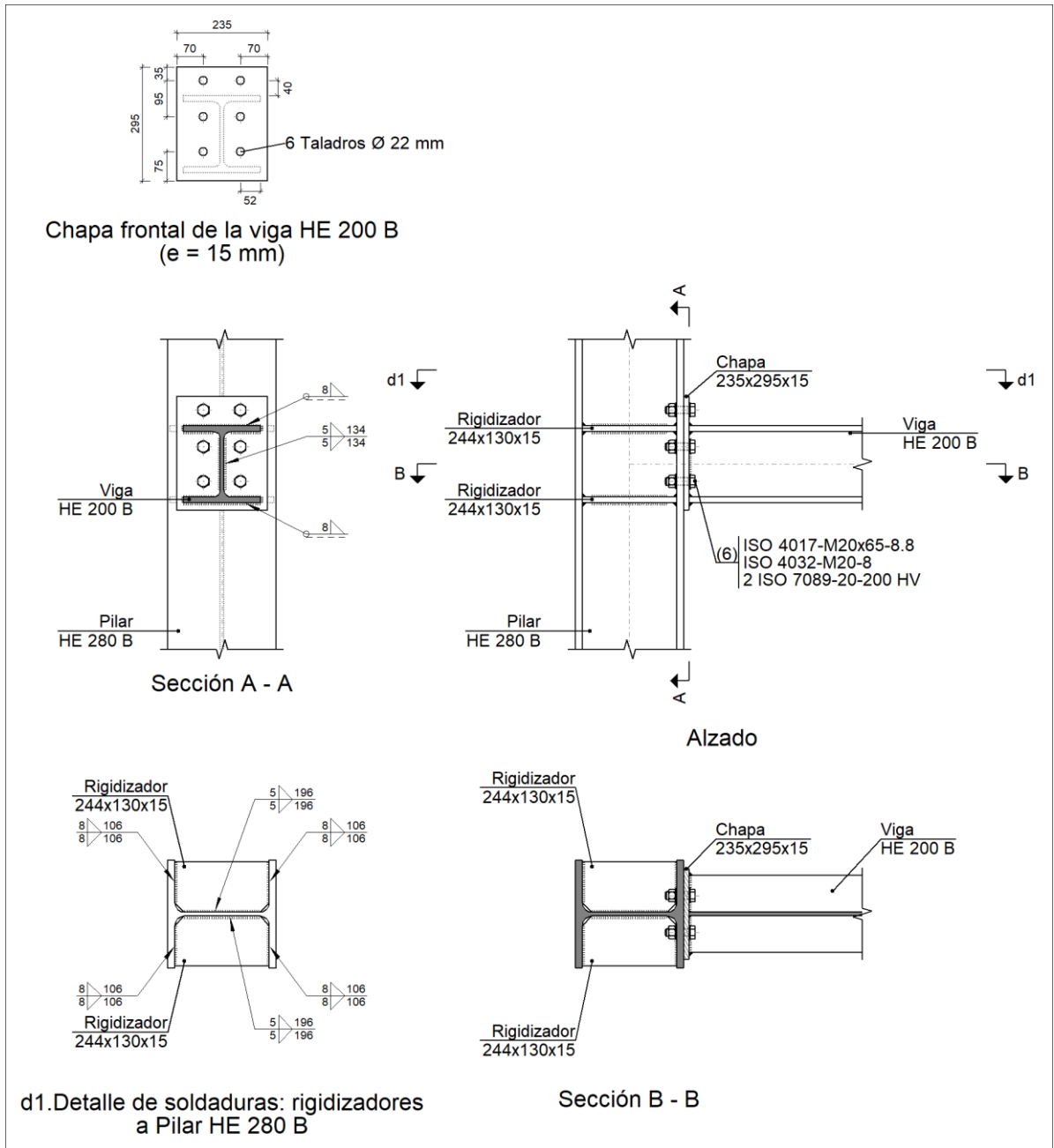
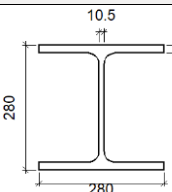
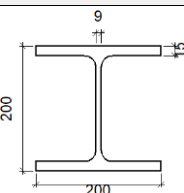
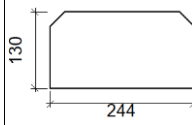
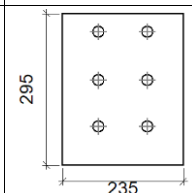


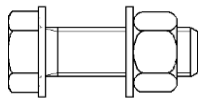
Figura 60. Descripción componentes unión tipo 7.

b) Descripción de los componentes de la unión

		Perfiles							
Pieza	Descripción	Geometría				Acero			
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Viga	HE 200 B		200	200	15	9	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Esquema	Geometría			Taladros		Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Rigidizador		244	130	15	-	-	S275	275.0	410.0
Chapa frontal: Viga HE 200 B		235	295	15	6	22	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M20x65-8.8 ISO 4032-M20-8 2 ISO 7089-20-200 HV		M20	65	8.8	640.0	800.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 280 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Panel	Esbeltez	--	--	--	35.91
	Cortante	kN	293.14	400.10	73.27
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	85.82	261.90	32.77
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	74.40	261.90	28.41
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	85.82	261.90	32.77

	Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	74.40	261.90	28.41
	Ala	Cortante	N/mm ²	128.45	261.90	49.04
Viga HE 200 B	Ala	Tracción por flexión	kN	165.09	282.24	58.49
		Tracción	kN	54.51	402.03	13.56
	Alma	Tracción	kN	94.91	182.92	51.89

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	106	15.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	106	15.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	106	15.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	106	15.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ _∥ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	56.9	56.9	0.0	113.8	29.49	56.9	17.34	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	58.3	101.0	26.16	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	49.3	49.3	0.0	98.6	25.56	49.3	15.04	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	59.1	102.3	26.51	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	56.9	56.9	0.0	113.8	29.49	56.9	17.34	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	58.3	101.0	26.16	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	49.3	49.3	0.0	98.6	25.56	49.3	15.04	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	59.1	102.3	26.51	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga HE 200 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	165.09	200.56	82.31
Ala	Compresión	kN	264.52	785.71	33.67

	Tracción	kN	107.57	392.86	27.38
Alma	Tracción	kN	41.34	180.36	22.92

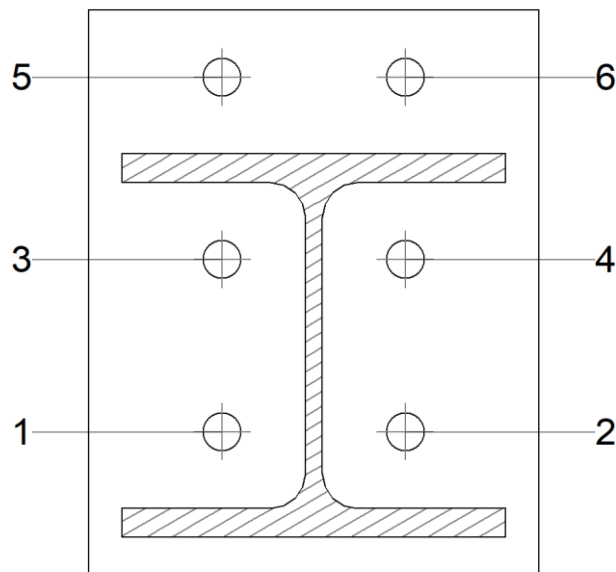
Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	200	15.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	5	134	9.0	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	200	15.0	90.00	

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	75.6	75.6	0.0	151.3	39.20	75.6	23.06	410.0	0.85
Soldadura del alma	57.9	57.9	116.8	233.0	60.39	57.9	17.64	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	76.4	76.4	0.0	152.9	39.61	76.4	23.30	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



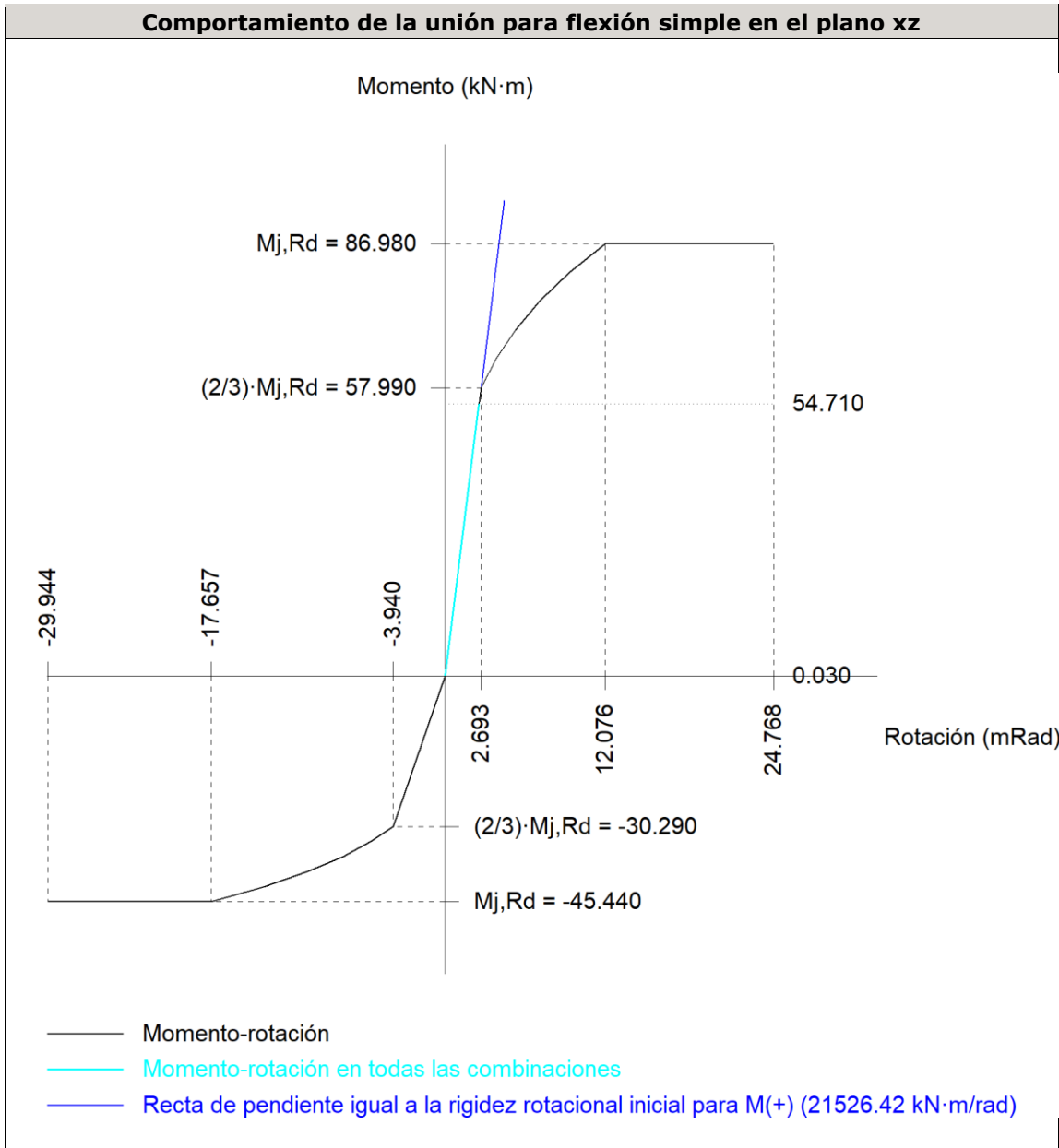
Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	--	70	90	96	40.0
2	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	--	70	90	96	40.0
3	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	--	70	90	96	40.0
4	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	--	70	90	96	40.0
5	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	35	70	95	96	35.0

Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
6	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	35	70	95	96	35.0
--: La comprobación no procede.							

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	14.675	141.120	10.40	40.69	40.69
	Aplastamiento	26.077	246.000	10.60	Punzonamiento	14.675	294.588	4.98		
2	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	14.675	141.120	10.40	40.69	40.69
	Aplastamiento	26.077	246.000	10.60	Punzonamiento	14.675	294.588	4.98		
3	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	49.831	141.120	35.31	58.48	58.48
	Aplastamiento	26.077	246.000	10.60	Punzonamiento	49.831	294.588	16.92		
4	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	49.831	141.120	35.31	58.48	58.48
	Aplastamiento	26.077	246.000	10.60	Punzonamiento	49.831	294.588	16.92		
5	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	116.158	141.120	82.31	92.06	92.06
	Aplastamiento	26.077	130.455	19.99	Punzonamiento	116.158	294.588	39.43		
6	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	116.158	141.120	82.31	92.06	92.06
	Aplastamiento	26.077	130.455	19.99	Punzonamiento	116.158	294.588	39.43		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	20307.50	21526.42
Calculada para momentos negativos	20307.50	7689.96

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.31	1.80	72.88
Momento resistente	kNm	54.71	86.98	62.90
Capacidad de rotación	mRad	102.580	667	15.39

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	1836
			8	2466

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	244x130x15	14.94
	Chapas	1	235x295x15	8.16
	Total			23.10

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	6	ISO 4017-M20x65
Tuercas	Clase 8	6	ISO 4032-M20
Arandelas	Dureza 200 HV	12	ISO 7089-20

TIPO 8 (Unión vigas de atado y ménsula con pilares en pórticos hastiales)

a) Detalle

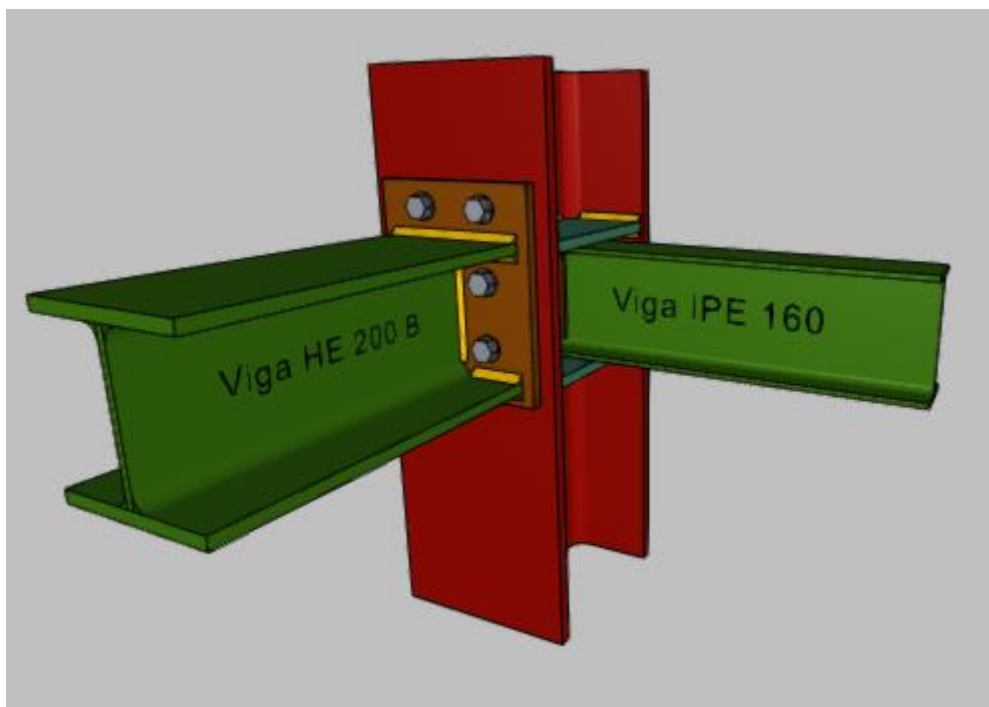


Figura 61. Unión tipo 8

a) Detalle

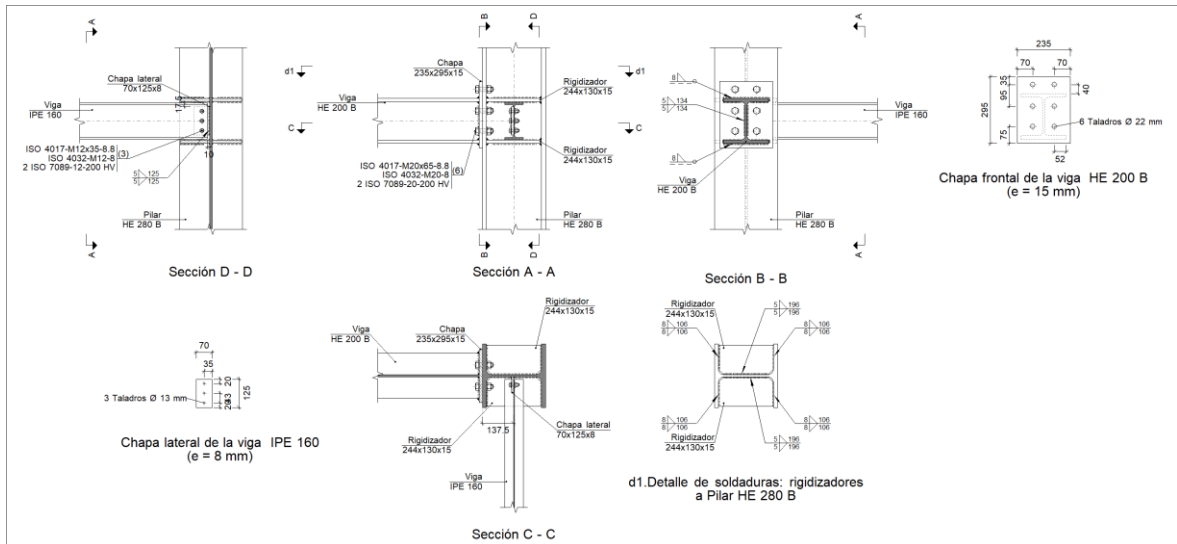
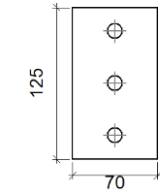
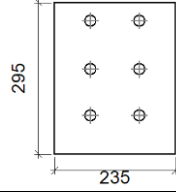


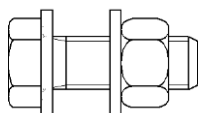
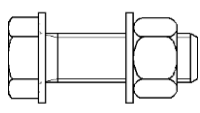
Figura 62. Descripción componentes unión tipo 8.

b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 160		160	82	7.4	5	S275	275.0	410.0
Viga	HE 200 B		200	200	15	9	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría					Taladros		Acero	
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Rigidizador		244	130	15	-	-	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Chapa lateral: Viga IPE 160		70	125	8	3	13	S275	275.0	410.0
Chapa frontal: Viga HE 200 B		235	295	15	6	22	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M12x35-8.8 ISO 4032-M12-8 2 ISO 7089-12-200 HV		M12	35	8.8	640.0	800.0
ISO 4017-M20x65-8.8 ISO 4032-M20-8 2 ISO 7089-20-200 HV		M20	65	8.8	640.0	800.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 280 B

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltez	--	--	--	35.91	
	Cortante	kN	293.14	400.10	73.27	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	85.82	261.90	32.77	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	74.40	261.90	28.41	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	85.82	261.90	32.77	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	74.40	261.90	28.41	
Ala	Cortante	N/mm ²	40.95	261.90	15.64	
Viga HE 200 B	Ala	Tracción por flexión	kN	165.09	282.24	58.49
		Tracción	kN	54.49	402.03	13.55
	Alma	Tracción	kN	94.91	182.92	51.89

Viga IPE 160	Alma	Punzonamiento	kN	49.69	549.66	9.04
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	49.69	162.06	30.66

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	106	15.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	106	15.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	106	15.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	106	15.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ _∥ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	56.9	56.9	0.0	113.8	29.49	56.9	17.34	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	58.3	101.0	26.16	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	49.3	49.3	0.0	98.6	25.56	49.3	15.04	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	59.1	102.3	26.51	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	56.9	56.9	0.0	113.8	29.49	56.9	17.34	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	58.3	101.0	26.16	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	49.3	49.3	0.0	98.6	25.56	49.3	15.04	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	59.1	102.3	26.51	0.0	0.00	410.0	0.85

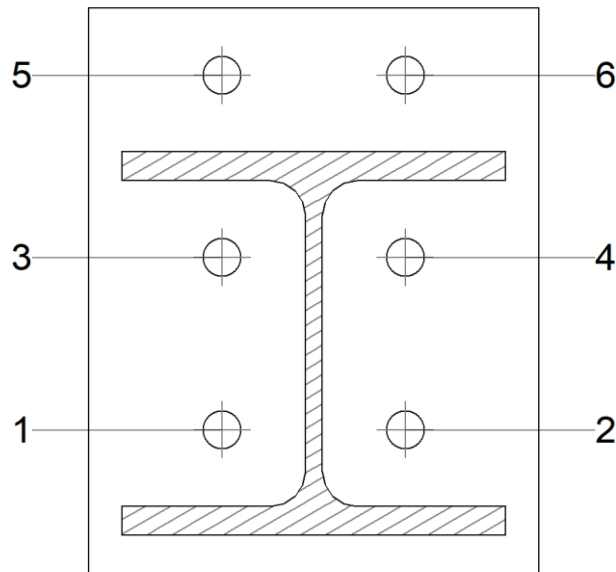
2) Viga HE 200 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	165.09	200.56	82.31
Ala	Compresión	kN	264.52	785.71	33.67
	Tracción	kN	107.57	392.86	27.38
Alma	Tracción	kN	41.32	180.36	22.91

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	200	15.0	90.00				
Soldadura del alma	En ángulo	5	134	9.0	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	200	15.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	75.6	75.6	0.0	151.3	39.20	75.6	23.06	410.0	0.85
Soldadura del alma	57.9	57.9	116.8	233.0	60.39	57.9	17.64	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	76.4	76.4	0.0	152.9	39.61	76.4	23.30	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	--	70	90	96	40.0
2	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	--	70	90	96	40.0
3	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	--	70	90	96	40.0
4	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	--	70	90	96	40.0
5	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	35	70	95	96	35.0
6	ISO 4017-M20x65-8.8	22.0	35	70	95	96	35.0

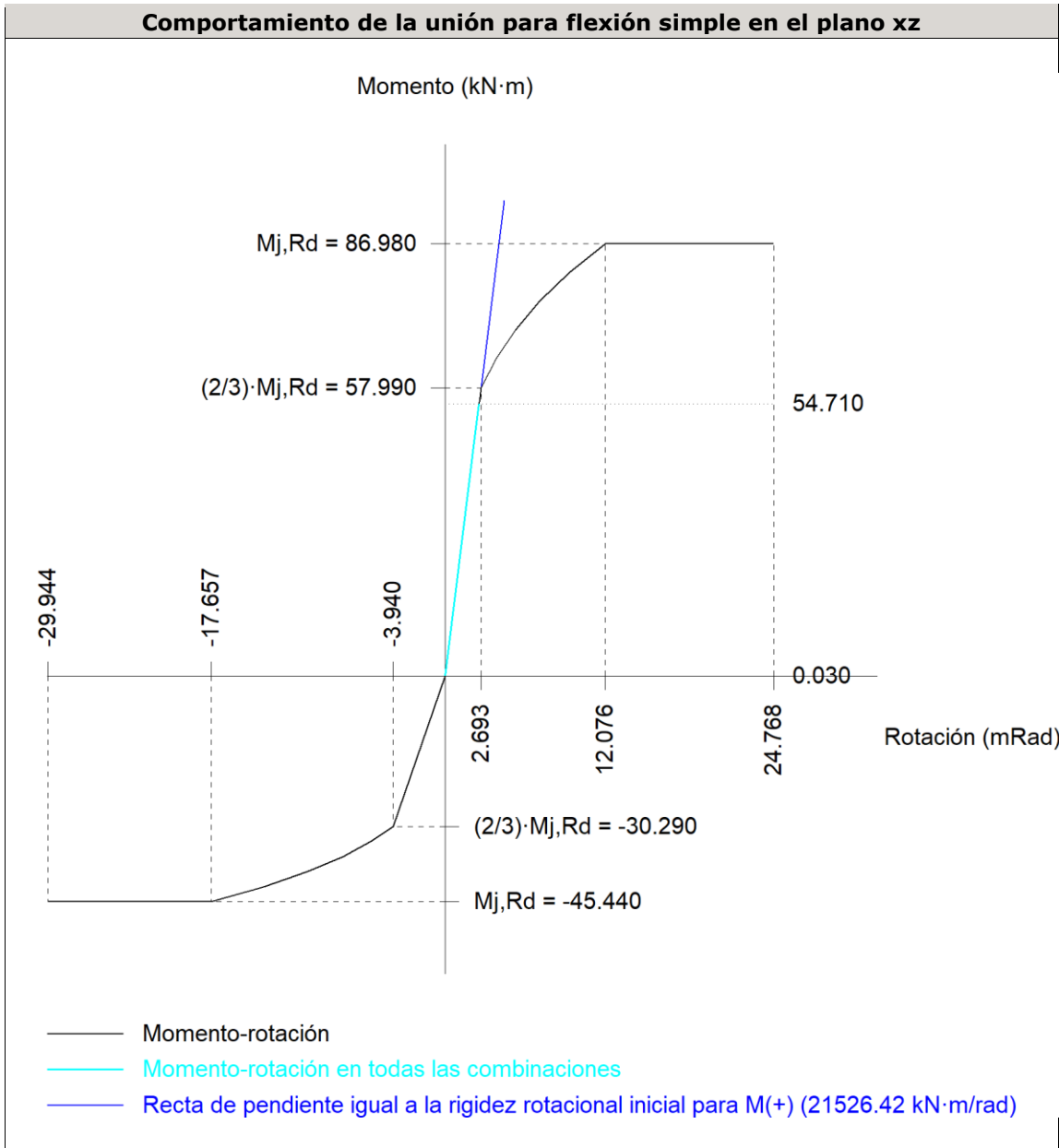
--: La comprobación no procede.

Resistencia

Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante Aprov. (%)	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	14.675	141.120	10.40	40.69	40.69
	Aplastamiento	26.077	246.000	10.60	Punzonamiento	14.675	294.588	4.98		
2	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	14.675	141.120	10.40	40.69	40.69
	Aplastamiento	26.077	246.000	10.60	Punzonamiento	14.675	294.588	4.98		
3	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	49.831	141.120	35.31	58.48	58.48
	Aplastamiento	26.077	246.000	10.60	Punzonamiento	49.831	294.588	16.92		
4	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	49.831	141.120	35.31	58.48	58.48
	Aplastamiento	26.077	246.000	10.60	Punzonamiento	49.831	294.588	16.92		
5	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	116.158	141.120	82.31	92.06	92.06
	Aplastamiento	26.077	130.455	19.99	Punzonamiento	116.158	294.588	39.43		
6	Sección transversal	26.077	78.400	33.26	Vástago	116.158	141.120	82.31	92.06	92.06
	Aplastamiento	26.077	130.455	19.99	Punzonamiento	116.158	294.588	39.43		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	20307.50	21526.42
Calculada para momentos negativos	20307.50	7689.96

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.31	1.80	72.88
Momento resistente	kNm	54.71	86.98	62.90
Capacidad de rotación	mRad	102.580	667	15.39

3) Viga IPE 160

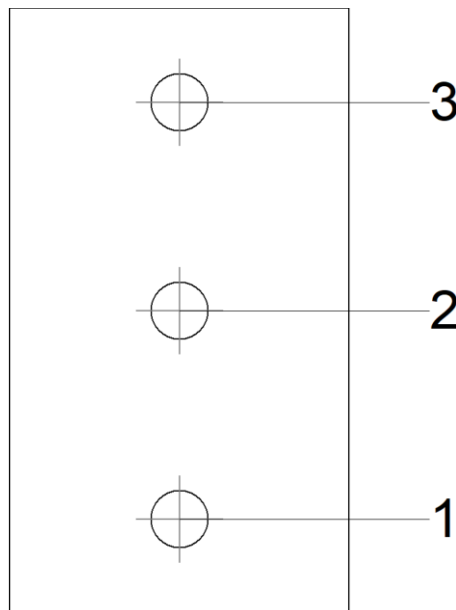
Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.13
	Tensiones combinadas	--	--	--	19.27
	Pandeo local	N/mm ²	50.46	241.98	20.85
	Aplastamiento	kN	16.74	70.65	23.70
	Desgarro	kN	49.69	104.03	47.77
Alma	Aplastamiento	kN	16.74	49.20	34.03

	Desgarro	kN	49.69	98.52	50.44
--	----------	----	-------	-------	-------

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	125	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	28.1	28.1	0.2	56.2	14.57	28.1	8.57	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición								
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)	
1	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5	
2	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	--	25	43	--	35.0	
3	ISO 4017-M12x35-8.8	13.0	20	25	43	--	19.5	

--: La comprobación no procede.

Resistencia					
Tornillo	Cortante	Tracción		Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)

	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Apro. v. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Apro. v. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	16.438	26.976	60.94	Vástago	0.000	48.557	0.00	60.94	60.94
	Aplastamiento	16.438	70.643	23.27	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
2	Sección transversal	16.564	26.976	61.40	Vástago	0.000	48.557	0.00	61.40	61.40
	Aplastamiento	16.564	70.646	23.45	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		
3	Sección transversal	16.742	26.976	62.06	Vástago	0.000	48.557	0.00	62.06	62.06
	Aplastamiento	16.742	70.646	23.70	Punzonamiento	0.000	58.782	0.00		

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	2086
			8	2466

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	244x130x15	14.94
	Chapas	1	70x125x8	0.55
		1	235x295x15	8.16
	Total			

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	3	ISO 4017-M12x35
		6	ISO 4017-M20x65
Tuercas	Clase 8	3	ISO 4032-M12
		6	ISO 4032-M20
Arandelas	Dureza 200 HV	6	ISO 7089-12
		12	ISO 7089-20

TIPO 9 (Unión marcos de cruces de San Andres con dinteles)

a) Detalle

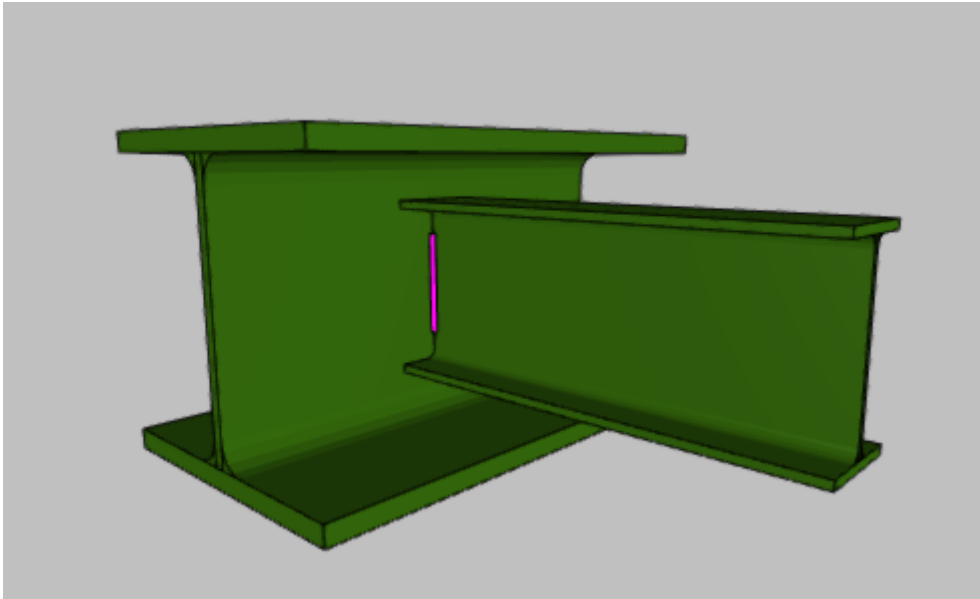


Figura 63. Unión tipo 9

a) Detalle

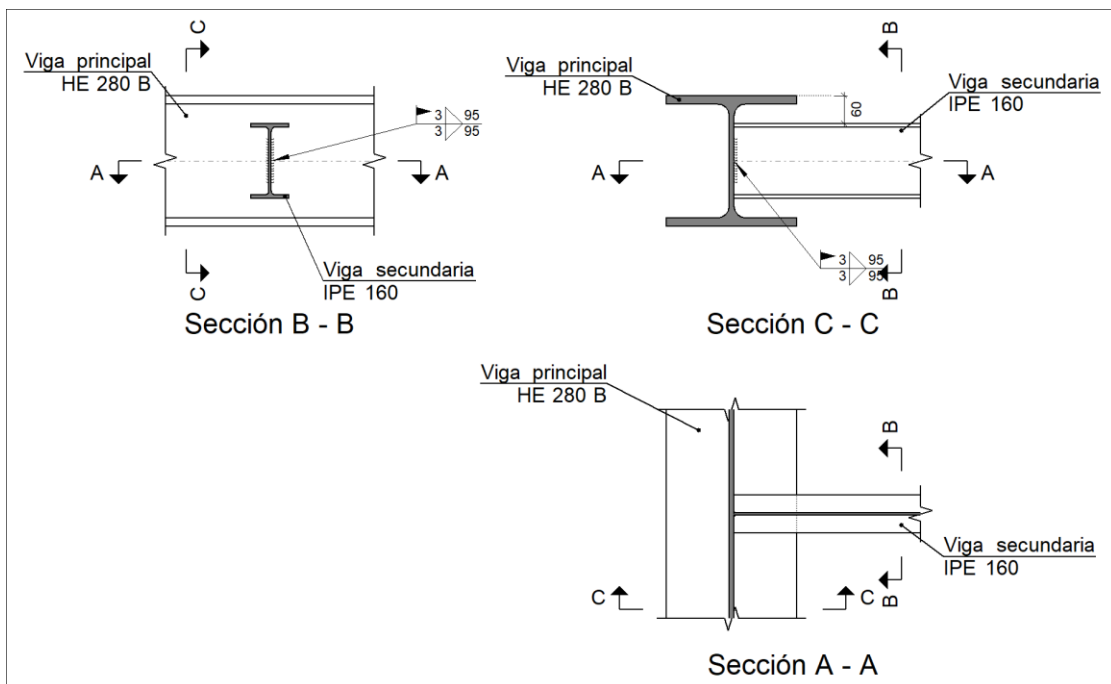
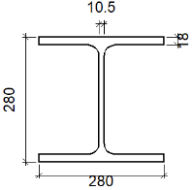
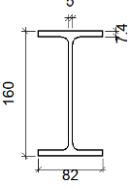


Figura 64. Descripción componentes unión tipo 9.

b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Viga	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 160		160	82	7.4	5	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Viga principal

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Punzonamiento	kN	3.06	129.00	2.37
	Flexión por fuerza perpendicular	kN	3.06	163.63	1.87

2) Viga secundaria IPE 160

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm ²	155.79	261.90	59.48

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del alma	En ángulo	3	95	5.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	48.2	55.0	0.9	106.7	27.66	55.0	16.76	410.0	0.85

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En el lugar de montaje	En ángulo	3	190

TIPO 10 (Unión entre pilarillos)

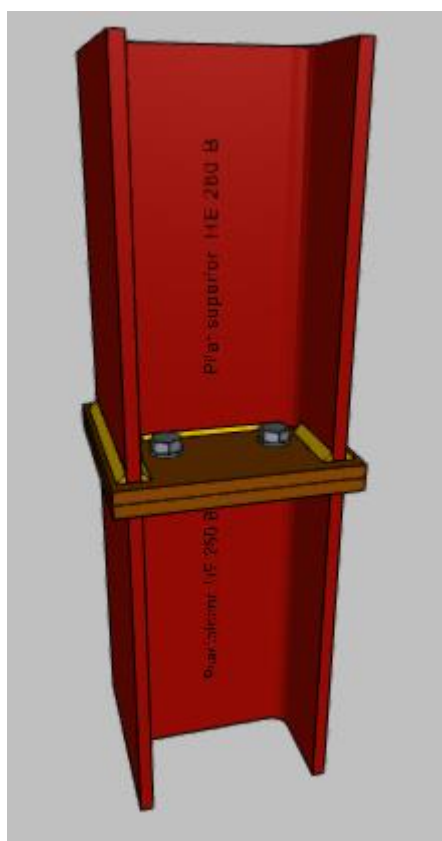


Figura 65. Unión tipo 10.

a) Detalle

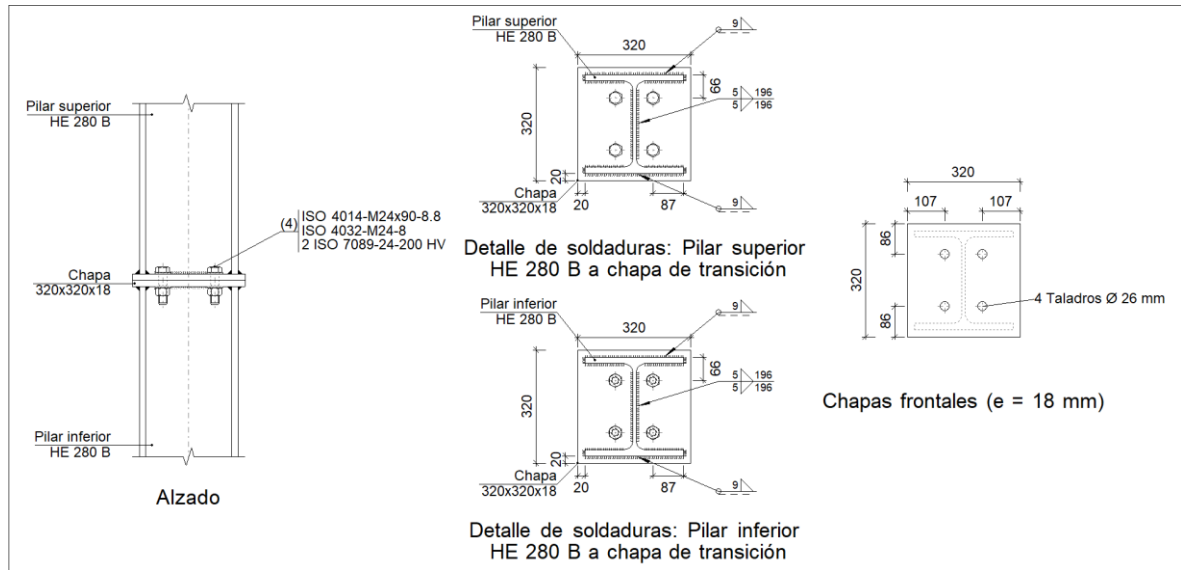


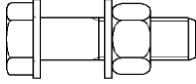
Figura 66. Descripción componentes unión tipo 10.

b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Pilar inferior	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0
Pilar superior	HE 280 B		280	280	18	10.5	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Esquema	Geometría			Taladros		Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Chapa frontal		320	320	18	4	26	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_v (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4014-M24x90-8.8 ISO 4032-M24-8 2 ISO 7089-24-200 HV		M24	90	8.8	640.0	800.0

c) Comprobación

1) Pilar inferior HE 280 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	134.05	400.70	33.45
Ala	Aplastamiento	kN	163.23	1320.00	12.37
	Tracción	kN	35.29	559.83	6.30
Alma	Tracción	kN	63.47	304.34	20.85

Cordones de soldadura

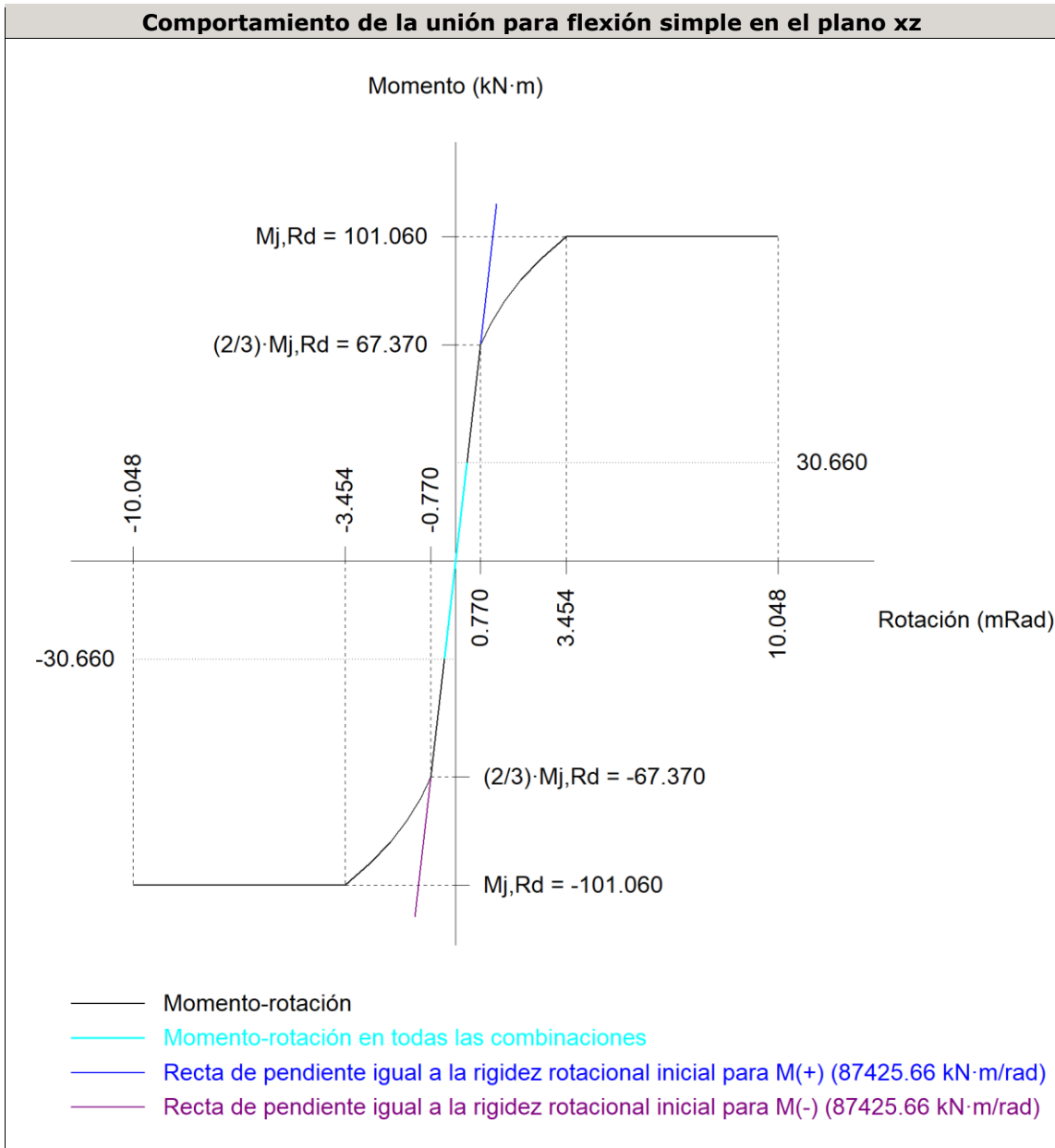
Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	90.00	
Soldadura del alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	29.5	29.5	0.0	59.0	15.28	29.5	8.99	410.0	0.85
Soldadura del alma	58.0	58.0	12.0	117.9	30.55	58.0	17.69	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	29.5	29.5	0.0	59.0	15.28	29.5	8.99	410.0	0.85

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	163550.60	87425.66
Calculada para momentos negativos	163550.60	87425.66

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.31	1.80	72.84
Momento resistente	kNm	30.66	101.06	30.34
Capacidad de rotación	mRad	34.905	667	5.24

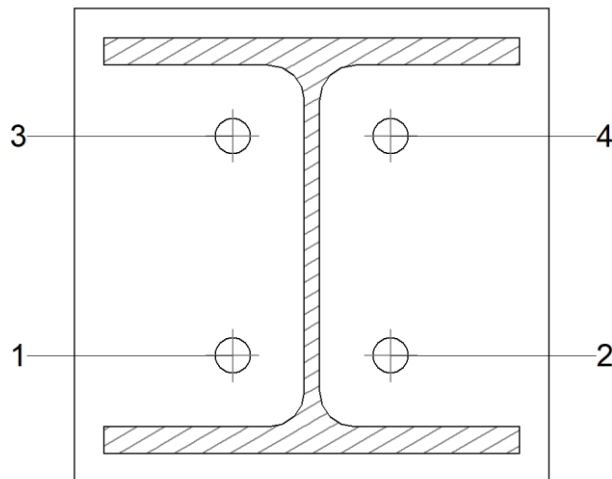
2) Pilar superior HE 280 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	134.05	400.70	33.45
Ala	Compresión	kN	163.23	1320.00	12.37
	Tracción	kN	35.29	559.83	6.30
Alma	Tracción	kN	63.47	304.34	20.85

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	90.00				
Soldadura del alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	29.5	29.5	0.0	59.0	15.28	29.5	8.99	410.0	0.85
Soldadura del alma	58.0	58.0	12.0	117.9	30.55	58.0	17.69	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	29.5	29.5	0.0	59.0	15.28	29.5	8.99	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos



Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	148	107	48.0
2	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	148	107	48.0
3	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	148	107	48.0
4	ISO 4014-M24x90-8.8	26.0	--	107	148	107	48.0

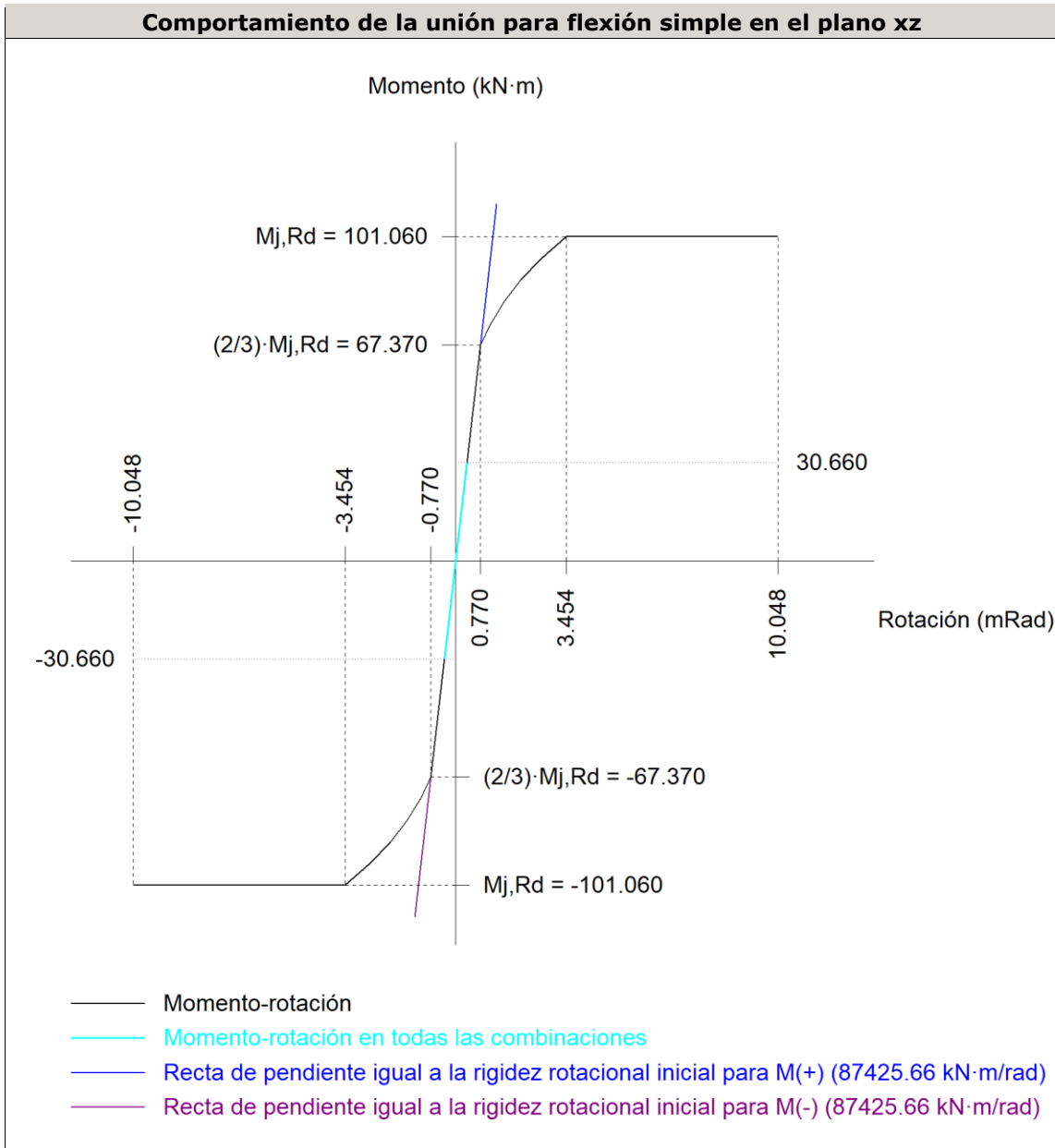
--: La comprobación no procede.

Resistencia

Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	7.546	144.765	5.21	Vástago	68.022	203.328	33.45	27.94	33.45
	Aplastamiento	7.546	354.240	2.13	Punzonamiento	68.022	420.390	16.18		
2	Sección transversal	7.546	144.765	5.21	Vástago	68.022	203.328	33.45	27.94	33.45
	Aplastamiento	7.546	354.240	2.13	Punzonamiento	68.022	420.390	16.18		
3	Sección transversal	7.546	144.765	5.21	Vástago	68.023	203.328	33.45	27.94	33.45
	Aplastamiento	7.546	354.240	2.13	Punzonamiento	68.023	420.390	16.18		
4	Sección transversal	7.546	144.765	5.21	Vástago	68.023	203.328	33.45	27.94	33.45
	Aplastamiento	7.546	354.240	2.13	Punzonamiento	68.023	420.390	16.18		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	163550.60	87425.66
Calculada para momentos negativos	163550.60	87425.66

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.31	1.80	72.84
Momento resistente	kNm	30.66	101.06	30.34
Capacidad de rotación	mRad	34.905	667	5.24

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	5	784
			9	2150

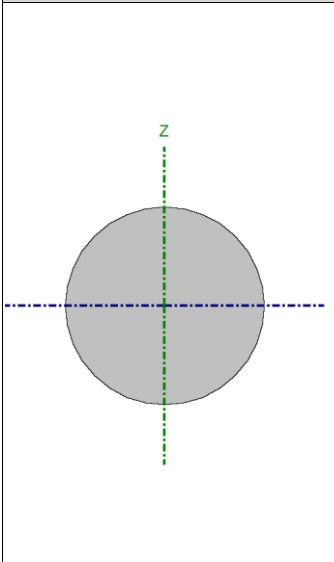
Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Chapas	2	320x320x18	28.94
	Total			28.94

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	4	ISO 4014-M24x90
Tuercas	Clase 8	4	ISO 4032-M24
Arandelas	Dureza 200 HV	8	ISO 7089-24

ARRIOSTRAMIENTOS

A continuación mostraremos la comprobación para el tirante que sufre las mayores sollicitaciones y las comprobaciones en los nudos de los diferentes grupos de ellos.

Barra N47/N59

Perfil: R 22 Material: Acero (S275)								
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _v ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
	N47	N59	5.839	3.80	1.15	1.15	2.30	
	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.			
	β	0.00	0.00	0.00	0.00			
	L _k	0.000	0.000	0.000	0.000			
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000			
	C ₁	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	$\frac{NM_y}{M_z}$	$\frac{NM_z}{V_z}$	M _t	M _t V _z	M _t V _y	

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	NM_y M_z	$NM_y M_z V_y$ V_z	M_t	$M_t V_z$		$M_t V_y$
N47/N59	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumpl e	$\eta = 81.9$	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPL E $\eta = 81.9$
<p>Notación:</p> <p>$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $NM_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $NM_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados $M_t V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede</p> <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <p>⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p>															

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.

$\bar{\lambda} < 0.01$ ✓

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.
f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

A: 3.80 cm²
f_y: 265.00 MPa
N_{cr}: ∞

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

Se debe satisfacer:

$\eta : 0.819$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H3+0.75·N(R)1.

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

N_{t,Ed}: 78.57 kN

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

N_{t,Rd}: 95.94 kN

Donde:

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

A : 3.80 cm²

f_{vd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{vd} : 252.38 MPa

Siendo:

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

f_v : 265.00 MPa

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

γ_{Mo} : 1.05

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

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

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Tipo 1

a) Detalle

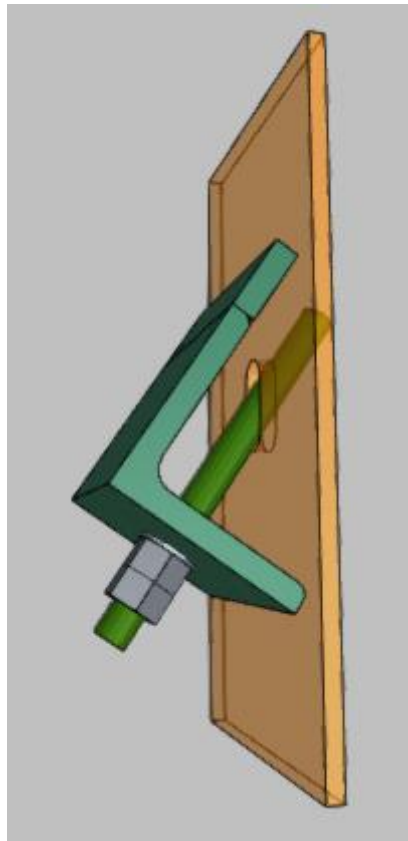


Figura 67. Unión arriostramientos 1

a) Detalle

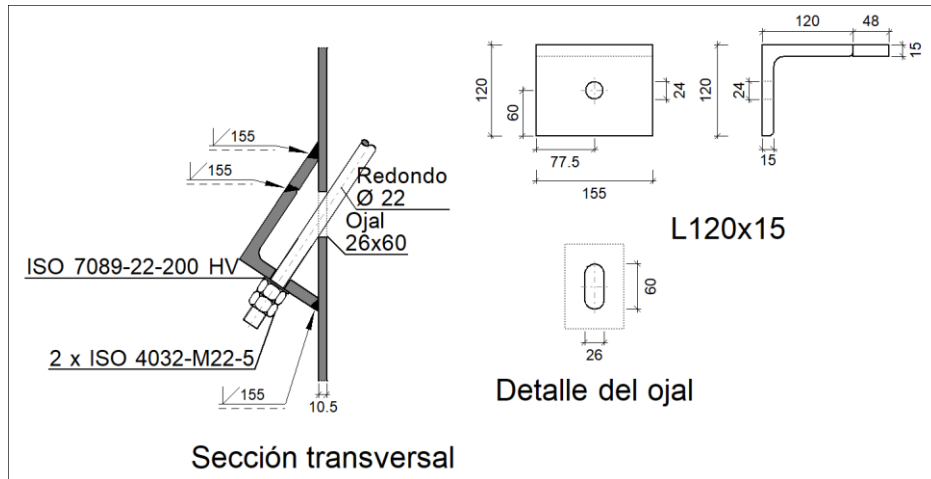


Figura 68. Descripción componentes unión tipo 1 arriostramientos.

b) Comprobación

1) L120x15 (S275)

Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Cortante de la sección transversal	kN	41.03	297.13	13.81
Flector	--	--	--	75.53

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	Preparación de bordes (mm)	l (mm)						
Soldaduras a tope del angular a la pieza	A tope en bisel simple	11	155						
<i>l: Longitud efectiva</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldaduras a tope del angular a la pieza	La comprobación no procede.					410.0	0.85		

c) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	A tope en bisel simple	15	465

Angulares				
Material	Tipo	Descripción (mm)	Longitud (mm)	Peso (kg)
S275	Anclajes de tirantes	L120x15	155	4.11
	Total			4.11

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tuercas	Clase 5	2	ISO 4032-M22
Arandelas	Dureza 200 HV	1	ISO 7089-22

Tipo 2

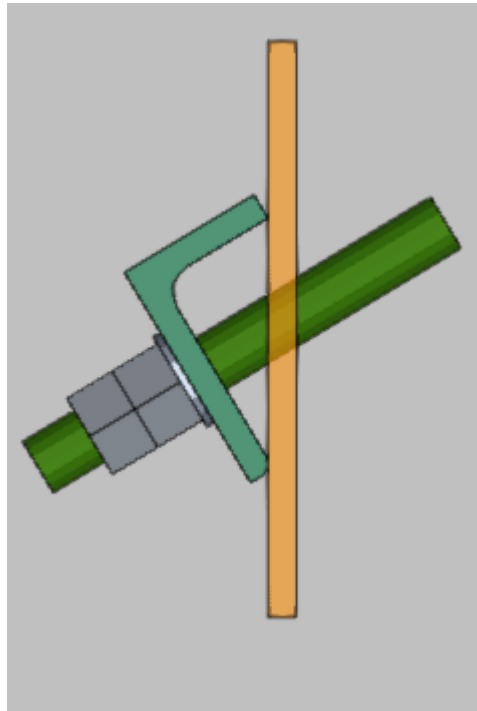


Figura 69. Unión arriostramientos 2

a) Detalle

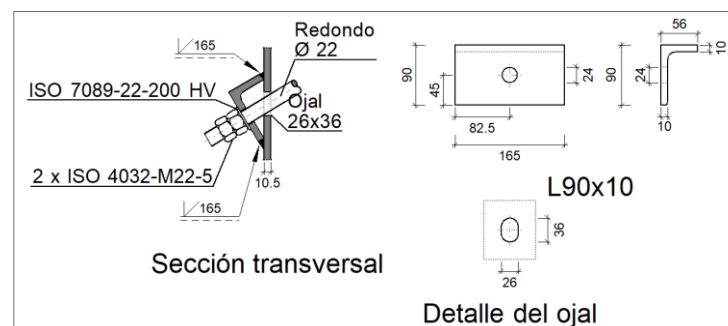


Figura 70. Descripción componentes unión tipo 2 arriostramientos.

b) Comprobación

1) L90x10 (S275)

Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Cortante de la sección transversal	kN	27.20	213.21	12.76
Flector	--	--	--	72.74

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas								
Ref.	Tipo		Preparación de bordes (mm)	l (mm)				
Soldaduras a tope del angular a la pieza	A tope en bisel simple		10	165				
<i>l: Longitud efectiva</i>								
Comprobación de resistencia								
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ _∥ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)		
Soldaduras a tope del angular a la pieza	La comprobación no procede.						410.0	0.85

c) Medición

Soldaduras				
f _u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	A tope en bisel simple	10	330

Angulares					
Material	Tipo	Descripción (mm)	Longitud (mm)	Peso (kg)	
S275	Anclajes de tirantes		L90x10	165	2.20
				Total	2.20

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tuercas	Clase 5	2	ISO 4032-M22
Arandelas	Dureza 200 HV	1	ISO 7089-22

Tipo 3

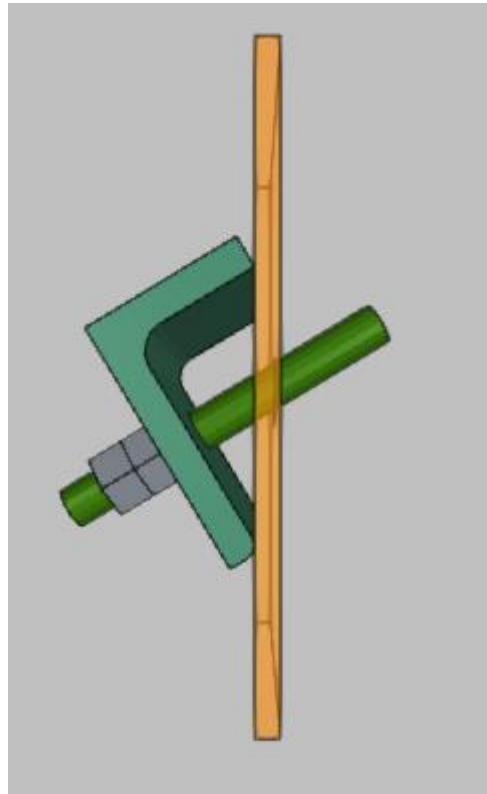


Figura 71. Unión tipo 3 arriostramientos

a) Detalle

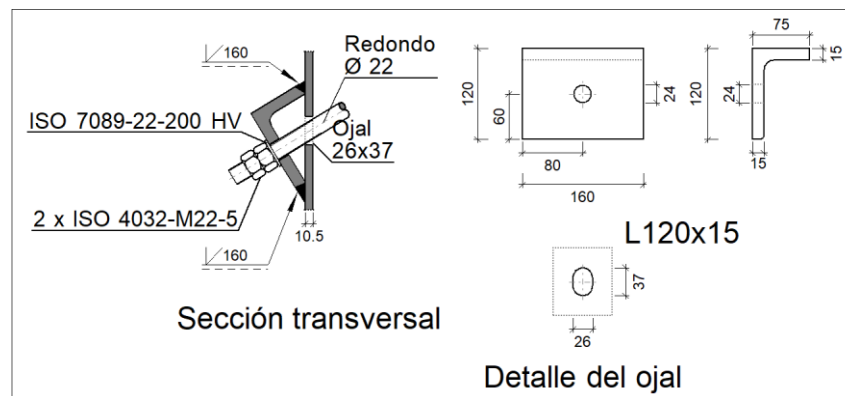


Figura 72. Descripción componentes unión tipo 3 arriostramientos.

b) Comprobación

1) L120x15 (S275)

Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Cortante de la sección transversal	kN	42.19	308.47	13.68
Flector	--	--	--	75.25

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo					Preparación de bordes (mm)		l (mm)	
Soldaduras a tope del angular a la pieza	A tope en bisel simple					11		160	
<i>l: Longitud efectiva</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldaduras a tope del angular a la pieza	La comprobación no procede.						410.0		0.85

c) Medición

Soldaduras				
f _u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	A tope en bisel simple	15	320

Angulares				
Material	Tipo	Descripción (mm)	Longitud (mm)	Peso (kg)
S275	Anclajes de tirantes	L120x15	160	4.24
				Total

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tuercas	Clase 5	2	ISO 4032-M22
Arandelas	Dureza 200 HV	1	ISO 7089-22

Tipo 4

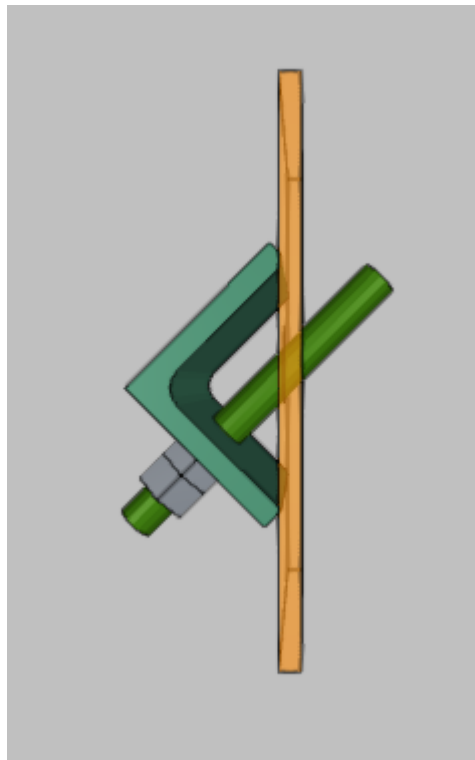


Figura 73. Unión tipo 4 arriostramientos

a) Detalle

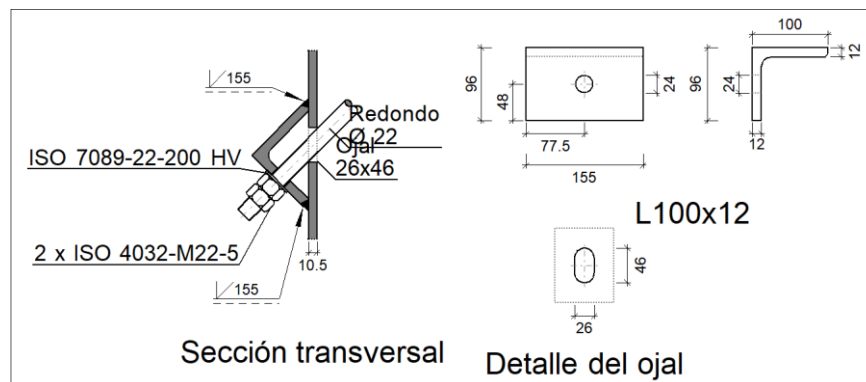


Figura 74. Descripción componentes unión tipo 4 arriostramientos.

b) Comprobación

1) L100x12 (S275)

Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Cortante de la sección transversal	kN	37.05	237.70	15.59
Flector	--	--	--	65.10

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo					Preparación de bordes (mm)		l (mm)	
Soldaduras a tope del angular a la pieza	A tope en bisel simple					11		155	
<i>l: Longitud efectiva</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldaduras a tope del angular a la pieza	La comprobación no procede.						410.0		0.85

c) Medición

Soldaduras				
f _u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	A tope en bisel simple	12	310

Angulares				
Material	Tipo	Descripción (mm)	Longitud (mm)	Peso (kg)
S275	Anclajes de tirantes	L100x12	155	2.74
				Total

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tuercas	Clase 5	2	ISO 4032-M22
Arandelas	Dureza 200 HV	1	ISO 7089-22

7.3. PLACAS DE ANCLAJE

Puesto que los pilares metálicos no pueden asentar directamente sobre el hormigón de la cimentación (debido a que éste no soportaría las tensiones transmitidas), se dispondrán unas placas metálicas entre el pilar y la cimentación. Su función principal será la de disminuir las tensiones que transmite el pilar para que sean aceptables por el hormigón. Los soportes distribuirán los esfuerzos de compresión, transmitidos por las zonas comprimidas del pilar, sobre una superficie suficiente de hormigón mediante elementos de transición como son las placas de anclaje, para que no se supere la resistencia de cálculo del hormigón. Las placas asentarán preferiblemente sobre un mortero de nivelación sin retracción interpuesto entre ambos materiales, estableciéndose una capa de 25-60 mm.

La unión de la placa base con las zapatas de cimentación se llevará a cabo mediante pernos de anclaje embebidos en el hormigón, los cuales inmobilizarán el pilar ante posibles fuerzas de arrancamiento o momentos. El material utilizado será un acero S-275 para las placas y los pernos serán barras corrugadas B-400-S.

Según el CTE, para asegurar la resistencia de esfuerzos tangentes, como cortantes o momentos torsores, y en caso de no disponerse de elementos específicos para ello, tales como topes o conectores de cortante, se debe justificar la capacidad resistente en la sección de contacto entre el soporte y el hormigón mediante:

- a) el rozamiento entre la placa base y el hormigón
- b) la resistencia a cortante de los pernos de anclaje

La comprobación de resistencia de la superficie de hormigón frente a las tensiones de contacto, y la de las regiones circundantes en la masa de éste para los esfuerzos internos necesarios para equilibrar los de contacto se realizará de acuerdo a la instrucción aplicable a los elementos estructurales de hormigón armado.

Finalmente, con el objetivo de procurar un sistema bastante homogéneo entre las placas de anclaje implantadas en la obra, se considera apropiada la segregación de estos elementos en dos grupos:

- Grupo 1: (Placas de anclaje de los pilares de los pórticos)

N1, N3, N6, N8, N11, N13, N16, N18, N21, N23, N26, N28, N31, N33, N36,

N38, N41, N43, N46, N48, N51, N53

- Grupo 2 : (Placas de anclaje de los pilarillos de los pórticos hastiales)
N56, N58, N60, N62, N64, N65, N66, N68, N70, N72

De modo que, según la clasificación descrita anteriormente, las placas de anclaje empleadas en este proyecto responden ante las siguientes descripciones:

GRUPO 1: (Placas de anclaje de los pilares de los pórticos)

a) Detalle

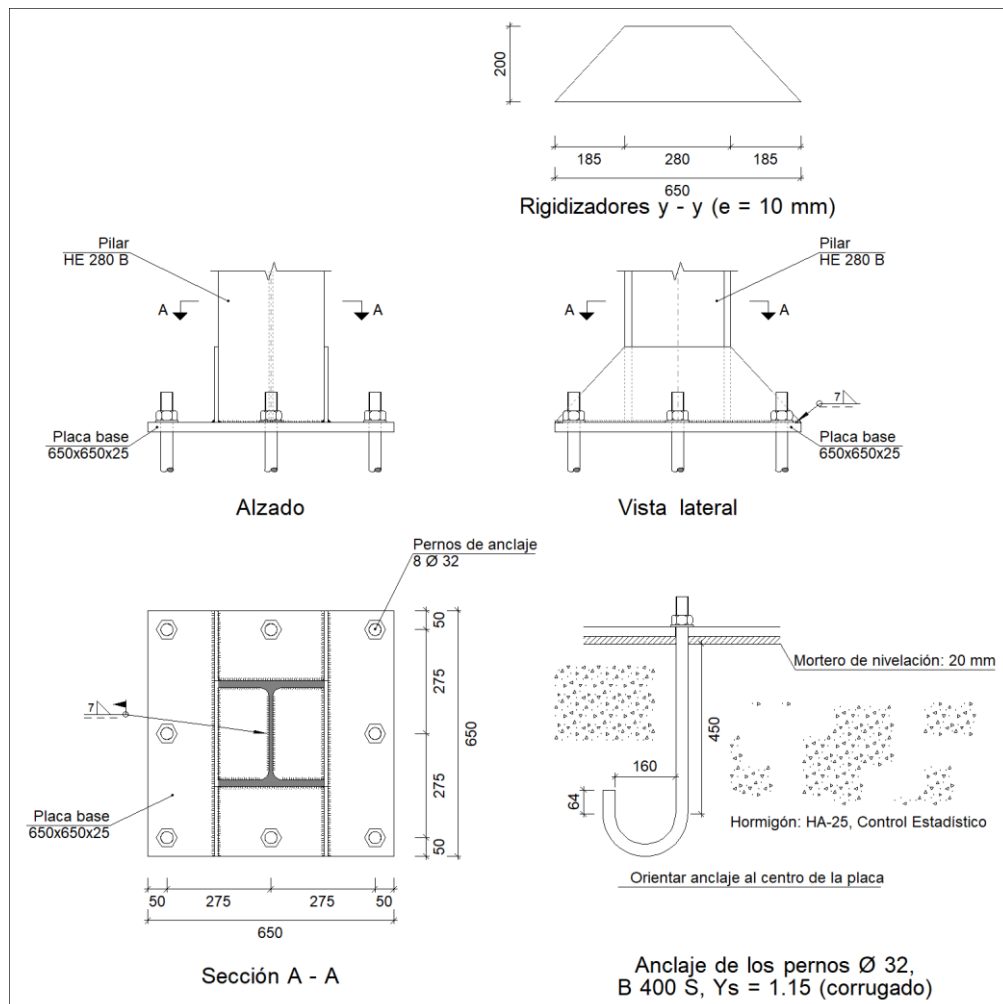
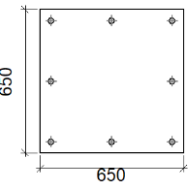
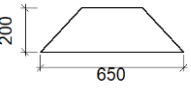


Figura 75. Descripción componentes placas de anclaje grupo 1.

b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios

Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Placa base		650	650	25	8	32	S275	275.0	410.0
Rigidizador		650	200	10	-	-	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 280 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	7	1395	10.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entr□ pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 96 mm Calculado: 275 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 125 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 47.2	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 32 cm Calculado: 45 cm	Cumple

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 160.01 kN Calculado: 139.28 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 112.01 kN Calculado: 8.68 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 160.01 kN Calculado: 151.68 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 204.55 kN Calculado: 127.24 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 158.776 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 419.05 kN Calculado: 8.35 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 182.052 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 182.052 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 194.778 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 194.778 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 352.831	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 352.831	Cumple
- Arriba:	Calculado: 4325.59	Cumple
- Abajo:	Calculado: 4325.59	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 215.906 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.166		
- Punto de tensión local máxima: (0.14, -0.0475)		

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Rigidizador y-y (x = -145): Soldadura a la placa base	En ángulo	7	650	10.0	90.00				
Rigidizador y-y (x = 145): Soldadura a la placa base	En ángulo	7	650	10.0	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 ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -145): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 145): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							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	7	2528
	En el lugar de montaje	En ángulo	7	1395

Elementos de tornillería no normalizados		
Tipo	Cantidad	Descripción
Tuercas	8	T32
Arandelas	8	A32

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	650x650x25	82.92
	Rigidizadores pasantes	2	650/280x200/0x10	14.60
	Total			97.52
B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)	Pernos de anclaje	8	$\varnothing 32 - L = 527 + 366$	45.08
	Total			45.08

GRUPO 2: (Placas de anclaje de los pilarillos de los pórticos hastiales)

a) Detalle

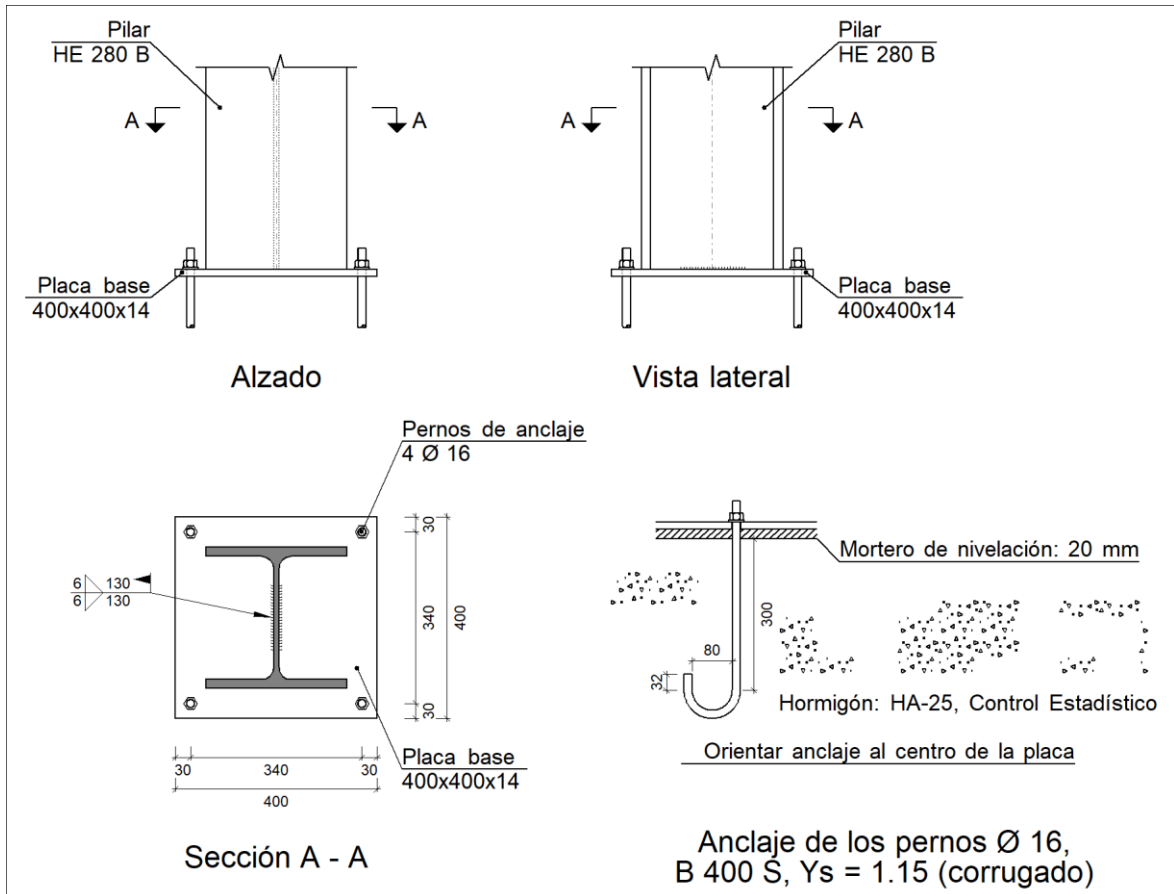
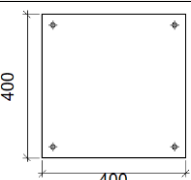


Figura 76. Descripción componentes placas de anclaje grupo 2.

b) Descripción de los componentes de la unión

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_v (MPa)	f_u (MPa)
Placa base		400	400	14	4	16	S275	275.0	410.0

c) Comprobación

1) Pilar HE 280 B

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Tensión de Von Mises	N/mm ²	69.05	261.90	26.37

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas

Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del alma	En ángulo	6	130	10.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	33.0	33.2	22.1	76.5	19.82	34.9	10.65	410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 340 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 24 mm Calculado: 43 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 24 mm Calculado: 30 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 16 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 53.34 kN Calculado: 5.65 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 37.34 kN Calculado: 9.18 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 53.34 kN Calculado: 18.77 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 51.14 kN Calculado: 6.22 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 82.4379 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 117.33 kN Calculado: 8.61 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 29.9128 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 29.9128 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 31.1364 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 31.1364 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 4116.01	Cumple

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Izquierda:	Calculado: 4116.01	Cumple
- Arriba:	Calculado: 4116.01	Cumple
- Abajo:	Calculado: 4116.01	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		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.0192		

d) Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En el lugar de montaje	En ángulo	6	260

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tuercas	Clase 5	4	ISO 4032-M16
Arandelas	Dureza 200 HV	4	ISO 7089-16

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	400x400x14	17.58
	Total			17.58
B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)	Pernos de anclaje	4	$\varnothing 16 - L = 350 + 183$	3.36
	Total			3.36

7.4. CIMENTACIÓN

7.4.1. Elementos de cimentación aislados

Como bien se ha realizado en otros apartados, durante el proceso de diseño y de estimación de cálculos, se ha procurado optimizar y mantener las prestaciones de la cimentación implantada, para lo cual se ha determinado factible la posibilidad de procurar un resultado de cimentación lo más homogéneo posible.

Debido a la distribución de las zapatas y a las diferentes solicitaciones a las que se van a ver afectadas, podemos establecer una serie de agrupaciones que serán bastante útiles a la hora de establecer descripciones, mediciones e incluso comprobaciones de esta serie de elementos.

Por lo tanto, separaremos las zapatas en tres grupos diferenciados:

- Grupo 1: (Zapatas de los pilares esquineros)

N1, N3, N51, N53

- Grupo 2: (Zapatas de los pilares intermedios)

N6, N8, N11, N13, N16, N18, N21, N23, N26, N28, N31, N33, N36, N38,

N41, N43, N46, N48

- Grupo 3: (Zapatas de los pilarillos hastiales I)

N56, N58, N70, N72

- Grupo 4: (Zapatas de los pilarillos hastiales II)

N60, N62, N64, N65, N66, N68

A continuación, mostramos la distribución en planta de las zapatas en la que se pueden apreciar los cuatro grupos de zapatas diferenciadas mencionados anteriormente:

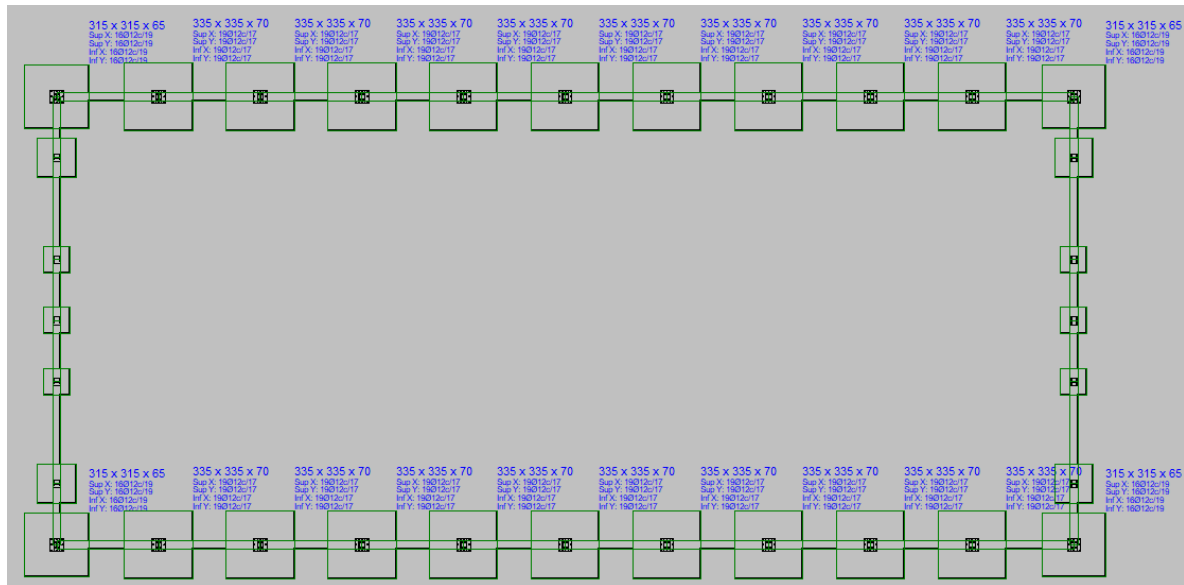


Figura 77. Disposición de la cimentación.

Por consiguiente, en lo referente a la descripción de los elementos anteriormente agrupados, procedemos a adjuntar sus respectivas comprobaciones:

GRUPO 1

Referencia: N1		
Dimensiones: 315 x 315 x 65		
Armados: Xi:Ø12c/19 Yi:Ø12c/19 Xs:Ø12c/19 Ys:Ø12c/19		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
-Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0329616 MPa	Cumple
-Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0315882 MPa	Cumple
-Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0553284 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: 58.2 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 14.8 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 55.24 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 124.02 kN·m	Cumple

Referencia: N1		
Dimensiones: 315 x 315 x 65		
Armados: Xi:Ø12c/19 Yi:Ø12c/19 Xs:Ø12c/19 Ys:Ø12c/19		
Comprobación	Valores	Estado
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 46.30 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 120.07 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes:	Máximo: 5000 kN/m ²	
<i>Criterio de CYPE</i>	Calculado: 144.8 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo:	Mínimo: 25 cm	
<i>Artículo 59.8.1 de la norma EHE-98</i>	Calculado: 65 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N1:	Mínimo: 44 cm	
	Calculado: 58 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima:		
<i>Criterio de CYPE</i>	Mínimo: 0.0018	
- En dirección X:	Calculado: 0.0018	Cumple
- En dirección Y:	Calculado: 0.0018	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión:		
<i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-98</i>	Calculado: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0004	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0003	Cumple
Diámetro mínimo de las barras:		
<i>Recomendación del Artículo 59.8.2 (norma EHE-98)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras:		
<i>Artículo 59.8.2 de la norma EHE-98</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
Separación mínima entre barras:		
<i>Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 19 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 19 cm	Cumple

Referencia: N1		
Dimensiones: 315 x 315 x 65		
Armados: Xi:Ø12c/19 Yi:Ø12c/19 Xs:Ø12c/19 Ys:Ø12c/19		
Comprobación	Valores	Estado
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 76 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 76 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 76 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 76 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 76 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 76 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 76 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 76 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo rígido (Artículo 59.2 de la norma EHE-98)		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.14		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.31		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 474.51 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 474.51 kN		

GRUPO 2

Referencia: N6		
Dimensiones: 335 x 335 x 70		
Armados: Xi:Ø12c/17 Yi:Ø12c/17 Xs:Ø12c/17 Ys:Ø12c/17		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.037278 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0594486 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0709263 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: 67.4 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 5.7 %	Cumple

Referencia: N6		
Dimensiones: 335 x 335 x 70		
Armados: Xi:Ø12c/17 Yi:Ø12c/17 Xs:Ø12c/17 Ys:Ø12c/17		
Comprobación	Valores	Estado
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 85.78 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 160.32 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 66.41 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 127.82 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes:	Máximo: 5000 kN/m ²	
<i>Criterio de CYPE</i>	Calculado: 191.1 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo:	Mínimo: 25 cm	
<i>Artículo 59.8.1 de la norma EHE-98</i>	Calculado: 70 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N6:	Mínimo: 44 cm	
	Calculado: 63 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima:		
<i>Criterio de CYPE</i>	Mínimo: 0.0018	
- En dirección X:	Calculado: 0.0019	Cumple
- En dirección Y:	Calculado: 0.0019	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión:		
<i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-98</i>	Calculado: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0003	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0005	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0003	Cumple
Diámetro mínimo de las barras:		
<i>Recomendación del Artículo 59.8.2 (norma EHE-98)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras:		
<i>Artículo 59.8.2 de la norma EHE-98</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 17 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 17 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 17 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 17 cm	Cumple
Separación mínima entre barras:		
<i>Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 17 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 17 cm	Cumple

Referencia: N6		
Dimensiones: 335 x 335 x 70		
Armados: Xi:Ø12c/17 Yi:Ø12c/17 Xs:Ø12c/17 Ys:Ø12c/17		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado superior dirección X:	Calculado: 17 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 17 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 82 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 82 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 82 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 82 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 82 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 82 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 82 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 82 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo rígido (Artículo 59.2 de la norma EHE-98)		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.17		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.31		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 545.14 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 545.14 kN		

GRUPO 3

Referencia: N58		
Dimensiones: 190 x 190 x 40		
Armados: Xi:Ø12c/30 Yi:Ø12c/30 Xs:Ø12c/30 Ys:Ø12c/30		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0285471 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0217782 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0359046 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: N58		
Dimensiones: 190 x 190 x 40		
Armados: Xi:Ø12c/30 Yi:Ø12c/30 Xs:Ø12c/30 Ys:Ø12c/30		
Comprobación	Valores	Estado
- En dirección X:	Reserva seguridad: 12.7 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 15930.0 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 18.55 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 13.85 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 27.47 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 20.21 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 159.6 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 59.8.1 de la norma EHE-98</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 40 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N58:	Mínimo: 30 cm Calculado: 33 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Criterio de CYPE</i>	Mínimo: 0.0018	
- En dirección X:	Calculado: 0.0019	Cumple
- En dirección Y:	Calculado: 0.0019	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-98</i>	Calculado: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0003	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0003	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 59.8.2 (norma EHE-98)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 59.8.2 de la norma EHE-98</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 30 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	

Referencia: N58		
Dimensiones: 190 x 190 x 40		
Armados: Xi:Ø12c/30 Yi:Ø12c/30 Xs:Ø12c/30 Ys:Ø12c/30		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 30 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 40 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 40 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 40 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 40 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 40 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 40 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 40 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 40 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo rígido (Artículo 59.2 de la norma EHE-98)		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.22		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.16		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 188.55 kN		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 188.55 kN		

GRUPO 4

Referencia: N65		
Dimensiones: 130 x 130 x 40		
Armados: Xi:Ø12c/30 Yi:Ø12c/30 Xs:Ø12c/30 Ys:Ø12c/30		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0306072 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.025506 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0457146 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata:		

Referencia: N65		
Dimensiones: 130 x 130 x 40		
Armados: Xi:Ø12c/30 Yi:Ø12c/30 Xs:Ø12c/30 Ys:Ø12c/30		
Comprobación	Valores	Estado
<p>- En dirección X:</p> <p><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 Y:</p> <p>(1) Sin momento de vuelco</p>	Reserva seguridad: 28.0 %	Cumple No procede ⁽¹⁾
<p>Flexión en la zapata:</p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Momento: 7.24 kN·m</p> <p>Momento: 4.52 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: 9.61 kN</p> <p>Cortante: 5.59 kN</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Compresión oblicua en la zapata:</p> <p>- Situaciones persistentes:</p> <p><i>Criterio de CYPE</i></p>	<p>Máximo: 5000 kN/m²</p> <p>Calculado: 94.3 kN/m²</p>	Cumple
<p>Canto mínimo:</p> <p><i>Artículo 59.8.1 de la norma EHE-98</i></p>	<p>Mínimo: 25 cm</p> <p>Calculado: 40 cm</p>	Cumple
<p>Espacio para anclar arranques en cimentación:</p> <p>- N65:</p>	<p>Mínimo: 30 cm</p> <p>Calculado: 33 cm</p>	Cumple
<p>Cuantía geométrica mínima:</p> <p><i>Criterio de CYPE</i></p> <p>- En dirección X:</p> <p>- En dirección Y:</p>	<p>Mínimo: 0.0018</p> <p>Calculado: 0.0019</p> <p>Calculado: 0.0019</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Cuantía mínima necesaria por flexión:</p> <p><i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-98</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: 0.0002</p> <p>Mínimo: 0.0002</p> <p>Mínimo: 0.0001</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Diámetro mínimo de las barras:</p> <p><i>Recomendación del Artículo 59.8.2 (norma EHE-98)</i></p> <p>- Parrilla inferior:</p> <p>- Parrilla superior:</p>	<p>Mínimo: 12 mm</p> <p>Calculado: 12 mm</p> <p>Calculado: 12 mm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Separación máxima entre barras:</p> <p><i>Artículo 59.8.2 de la norma EHE-98</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: 30 cm</p> <p>Calculado: 30 cm</p> <p>Calculado: 30 cm</p> <p>Calculado: 30 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>

Referencia: N65		
Dimensiones: 130 x 130 x 40		
Armados: Xi:Ø12c/30 Yi:Ø12c/30 Xs:Ø12c/30 Ys:Ø12c/30		
Comprobación	Valores	Estado
<p>Separación mínima entre barras:</p> <p><i>Criterio de CYPE, 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: 30 cm</p> <p>Calculado: 30 cm</p> <p>Calculado: 30 cm</p> <p>Calculado: 30 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Longitud de anclaje:</p> <p><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>- Armado sup. dirección X hacia der:</p> <p>- Armado sup. dirección X hacia izq:</p> <p>- Armado sup. dirección Y hacia arriba:</p> <p>- Armado sup. dirección Y hacia abajo:</p>	<p>Mínimo: 22 cm</p> <p>Calculado: 22 cm</p> <p>Calculado: 22 cm</p> <p>Calculado: 22 cm</p> <p>Calculado: 22 cm</p> <p>Calculado: 22 cm</p> <p>Calculado: 22 cm</p> <p>Calculado: 22 cm</p> <p>Calculado: 22 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
<p>Longitud mínima de las patillas:</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>- Armado sup. dirección X hacia der:</p> <p>- Armado sup. dirección X hacia izq:</p> <p>- Armado sup. dirección Y hacia arriba:</p> <p>- Armado sup. dirección Y hacia abajo:</p>	<p>Mínimo: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p> <p>Calculado: 12 cm</p>	<p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p> <p>Cumple</p>
Se cumplen todas las comprobaciones		
<p>Información adicional:</p> <p>- Zapata de tipo rígido (Artículo 59.2 de la norma EHE-98)</p> <p>- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.13</p> <p>- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.08</p> <p>- Cortante de agotamiento (En dirección X): 127.92 kN</p> <p>- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 127.92 kN</p>		

7.4.2. Vigas de atado

Para las vigas de atado se ha supuesto la misma sección para toda la estructura.

La nave dispondrá de un muro de hormigón armado perimetralmente, por lo que será necesario contar unas vigas de atado de mayores dimensiones para que el muro perimetral pueda apoyar en ellas.

Las dimensiones de las vigas de atado serán las siguientes:

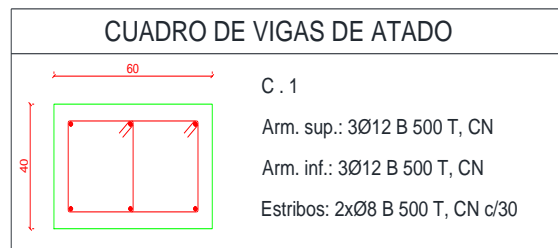


Figura 78. Cuadro de vigas de atado.

7.4.3. Solera

Según la norma NTE-RSS en lo referente a soleras, para un uso como el que se le va a dar en una nave industrial como la que se está diseñando se utilizan solera pesadas (RSS-6), sobrecarga estática superior a 5 t/m².

La solera se ejecuta de la siguiente manera:

- 1) Capa: arena de río con tamaño máximo de árido de 0,5 cm, formando una capa de 15 cm de espesor, extendida sobre firme estabilizado, consolidado y compactado.
- 2) Capa: lámina aislante de polietireno.
- 3) Capa: hormigón formado por una capa de 20 cm de espesor, extendido sobre la lámina aislante, terminando la superficie mediante reglado. El curado se realizará mediante riego que no produzca deslavado.

También se dispondrá de juntas de retracción así como juntas de aislamiento.

8. RED DE SANEAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES

Utilizaremos tubos de P.V.C. para evitar la acumulación de agua que se da en las tuberías de fibrocemento.

Se utilizará la norma NTE-ISS referente a saneamiento para proyectar las dimensiones de los elementos que constituyen la red de saneamiento como: canalones, bajantes, colectores y arquetas. Además, se cumplirá lo establecido en el CTE-DB de salubridad.

Sumideros

De acuerdo con el documento DB-SE-HS del CTE se regula la disposición de los sumideros para facilitar la evacuación de las aguas pluviales recogidas en la cubierta de la nave.

El número de sumideros depende de la superficie de la cubierta. Para saber el número de sumideros se hace uso de la tabla 4.6 extraída del CTE (DB-SE-HS apartado 4.2.1)

Superficie de cubierta en proyección horizontal (m ²)	Número de sumideros
S < 100	2
100 ≤ S < 200	3
200 ≤ S < 500	4
S > 500	1 cada 150 m ²

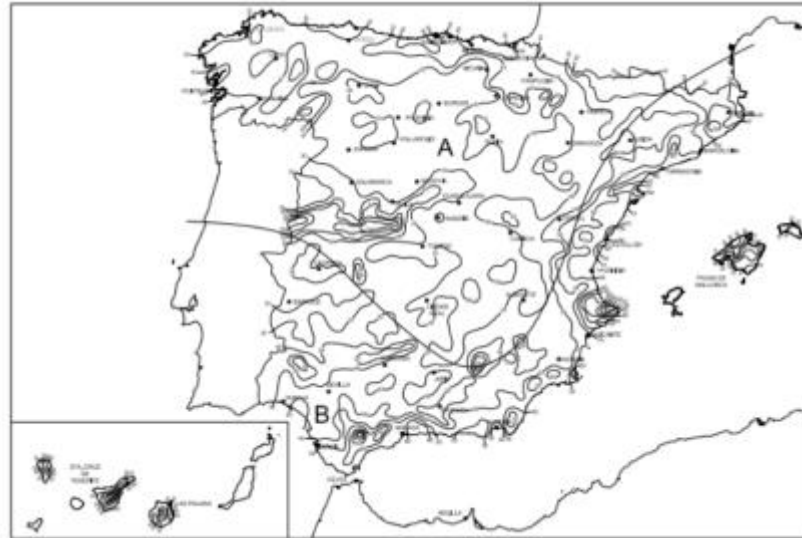
Figura 79. Tabla 4.6. N° de sumideros en función de la superficie de cubierta

En nuestro caso dispondremos de 8 sumideros, 4 para cada faldón de cubierta, debido a que disponemos de una superficie aproximada de 550m² para cada faldón.

Canalones

Las dimensiones de los canalones también dependen del volumen de agua a evacuar y por lo tanto de la superficie de cubierta en proyección horizontal.

Se debe conocer la intensidad pluviométrica de la zona donde se sitúe la nave, mostrada en el DB-SE-HS.



De donde observamos que la nave se encuentra en la zona isoyeta A-40. En la tabla se indica que la intensidad pluviométrica es de 125 mm/h, como se aprecia a continuación:

	Intensidad Pluviométrica i (mm/h)											
Isoyeta	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Zona A	30	65	90	125	155	180	210	240	275	300	330	365
Zona B	30	50	70	90	110	135	150	170	195	220	240	265

Figura 80. Intensidad pluviométrica.

A continuación, se deberá calcular la superficie en proyección horizontal que abarcará cada canalón, por lo que si la superficie total por faldón es de 550 m^2 la superficie aproximada para cada canalón será de 150 m^2 . También se deberá considerar la inclinación de los canalones que será de un 2%.

El CTE establece que para un régimen de intensidad pluviométrica diferente de 100 mm/h , debe aplicarse un factor f de corrección a la superficie servida tal que: $f = i/100$.

Por lo tanto, con la intensidad pluviométrica calculada anteriormente se obtiene dicho factor de corrección:

$$f = i/100 = 125/100 = 1,25$$

La superficie por canalón será: $150 \cdot 1,25 = 187,5 \text{ m}^2$.

Entrando con este dato en la tabla 4.7 de DB-SE-HS que se observa a continuación obtenemos el diametro mínimo del que deberán de disponer los canalones.

Tabla 4.7 Diámetro del canalón para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Máxima superficie de cubierta en proyección horizontal (m ²)				Diámetro nominal del canalón (mm)
Pendiente del canalón				
0.5 %	1 %	2 %	4 %	
35	45	65	95	100
60	80	115	165	125
90	125	175	255	150
185	260	370	520	200
335	475	670	930	250

Figura 81. Tabla 4.7. Diámetro del canalón s/régimen pluviométrico

Tomamos el valor del diámetro que corresponde al valor de la superficie mayor, para quedarnos del lado de la seguridad. Por lo tanto el diámetro de los canalones será de 150 mm.

Bajantes

Se sigue con el cálculo de los canalones establecido en 150 m² para obtener mediante la tabla 4.8 del DB-SE-HS el diámetro de las bajantes.

Tabla 4.8 Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Superficie en proyección horizontal servida (m ²)	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

Figura 82. Tabla 4.8. Diámetro de las bajantes

Tomamos el valor del diámetro que corresponde al valor de la superficie mayor, para quedarnos del lado de la seguridad. Por lo tanto el diámetro nominal mínimo de la bajante será de 75 mm.

Colectores

Son tuberías que se encuentran soterradas para transportar el agua de recogida en las arquetas hasta los pozos de registro. Estas tuberías tienen una pendiente aproximada del 2%.

Dado que el caudal de recogida puede ser mayor en algunas arquetas que en otras, se dimensionará primero para un faldón de la cubierta y posteriormente para toda la cubierta.

De acuerdo con la tabla 4.9 del DB-SE-HS sacaremos el diámetro mínimo de los colectores individuales y del colector final.

Tabla 4.9 Diámetro de los colectores de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Superficie proyectada (m ²)			Diámetro nominal del colector (mm)
Pendiente del colector			
1 %	2 %	4 %	
125	178	253	90
229	323	458	110
310	440	620	125
614	862	1.228	160
1.070	1.510	2.140	200
1.920	2.710	3.850	250
2.016	4.589	6.500	315

Figura 83. Tabla 4.9. Diámetro de los colectores

Para los colectores individuales:

$$1,25 \cdot 550 = 687,5 \text{ m al } 2\%, \text{ diámetro nominal mínimo del colector: } 160 \text{ mm.}$$

Para el colector final:

$$1,25 \cdot 1100 = 1375 \text{ m al } 2\%, \text{ diámetro nominal mínimo del colector: } 200 \text{ mm.}$$

Arquetas

Se situarán debajo de cada bajante, separadas de la fachada, y donde exista algún cambio de dirección. Con una tubería de 160 mm de diámetro como mínimo que le llegará se obtiene de acuerdo a la tabla 4.13 del CTE el tamaño mínimo de la arqueta.

Tabla 4.13 Dimensiones de las arquetas

L x A [cm]	Diámetro del colector de salida [mm]								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
40 x 40	50 x 50	60 x 60	60 x 70	70 x 70	70 x 80	80 x 80	80 x 90	90 x 90	

Figura 84. Tabla 4.13. Diámetro de las arquetas.

Se establece que las dimensiones mínimas de las arquetas para los tramos con tubería de diámetro mínimo de 160 mm serán de 60x60 cm, al igual que para la salida final con tubería de diámetro mínimo de 200 mm.