UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

ANEJO Nº 11 – ANÁLISIS Y CÁLCULOS ESTRUCTURALES

PARTE 2 – ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURA PARA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

Proyecto básico y estructural de piscina cubierta y aparcamiento subterráneo en AV/ Augusta. Jávea (Alicante)

Grado en Ingeniería Civil

ÍNDICE

1. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA 3

2. COMBINACIÓN DE ACCIONES DE LA ESTRUCTURA PARA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO 4

2.1. Combinaciones para Estado Límite Último 4
2.2. Combinaciones para Estado Límite de Servicio 5

3. MODELO ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA PARA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO 5

3.1. Programa de cálculo empleado 5
3.2. Modelización estructural 5

4. ENVOLVENTE DE ESFUERZOS DE LA ESTRUCTURA PARA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO 7

4.1. Estructura Principal 7
4.2. Estructura auxiliar 8

5. COMPROBACIONES Y DIMENSIONAMIENTO 9

5.1. Pilar pórtico estructura principal 9
5.2. Pilar pórtico hastial estructura principal 16
5.3. Cordón superior pórticos estructura principal 22
5.4. Cordón inferior pórticos estructura principal 30
5.5. Diagonales de la celosía de la estructura principal 36
5.6. Correas de cubierta de la estructura principal 44
5.7. Cruz de San Andrés de fachada lateral de la estructura principal 50
5.8. Cruz de San Andrés de la cubierta de la estructura principal 50
5.9. Pilar pórtico estructura auxiliar 51
5.10. Cordón superior estructura auxiliar 51
5.11. Cordón inferior estructura auxiliar 52
5.12. Diagonales de la celosía de la estructura auxiliar 52
5.13. Cruz de San Andrés de la fachada lateral de la estructura auxiliar 53
5.14. Cruz de San Andrés de la cubierta de la estructura auxiliar 53
5.15. Correas de la estructura auxiliar 54

6. COMPROBACIONES DE DEFORMACIONES 54

6.1. Pilar pórtico estructura principal 54
6.2. Pilar pórtico hastial estructura principal 54
6.3. Cordón superior pórticos estructura principal 54
6.4. Cordón inferior pórticos estructura principal 55
6.5. Diagonales de la celosía de la estructura principal 55
6.6. Correas de cubierta de la estructura principal 55
6.7. Pilar pórtico estructura auxiliar 55
6.8. Cordón superior estructura auxiliar 55
6.9. Cordón inferior estructura auxiliar 55
6.10. Diagonales de la celosía de la estructura auxiliar 55
6.11. Correas de la estructura auxiliar 55

7. UNIONES 56

7.1. Especificaciones para uniones soldadas 56
7.2. Especificaciones para uniones atornilladas 56
7.3. Comprobaciones en placas de anclaje 57
7.4. Dimensionamiento de las uniones 57
7.4.1. Unión cordón superior – pilar inferior estructura auxiliar 57
7.4.2. Unión cordón inferior – pilar inferior estructura auxiliar 60
7.4.3. Unión cordón superior – pilar lado mayor estructura auxiliar 64
7.4.4. Unión cordón inferior – pilar lado mayor estructura auxiliar 67
7.4.5. Unión cordón superior – pilar lado mayor estructura auxiliar 70
7.4.6. Unión cordón superior – pilar hastial estructura auxiliar 74
7.4.7. Unión pilar de la estructura auxiliar – pilar de hormigón 77
7.4.8. Unión pilar de la estructura principal – cordón superior 79
7.4.9. Unión pilar de la estructura principal – cordón inferior 82
7.4.10. Unión pilar hastial de la estructura principal – cordón superior 85
7.4.11. Unión pilar de la estructura principal – pilar de hormigón 88
7.4.12. Unión entre perfiles de la celosía 89

1. Descripción de la solución adoptada

La solución adoptada se trata de una estructura conformada por perfiles metálicos. Se pueden diferenciar a su vez, una estructura principal que contiene la piscina y el graderío y una estructura auxiliar de menores dimensiones donde quedan ubicadas otras instalaciones y los accesos a las gradas.

La primera estructura tiene unas dimensiones de 60 metros de longitud y 48 metros de anchura. Se trata de un espacio diáfano con una superficie de 2880 metros cuadrados. Presenta una luz principal de 48 metros de longitud, que se salva mediante una celosía metálica cilíndrica tipo Warren.

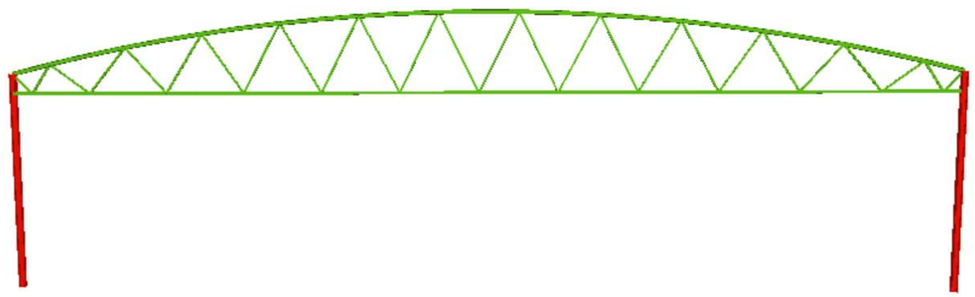


Imagen 1 – Pórtico tipo de la estructura principal. Fuente: Propia

La celosía tipo Warren tiene una altura de 4 metros en el centro del vano, que sumado a los 10 metros que tienen los pialares hacen que la estructura tenga una altura máxima de 14 metros. Los pórticos están situados cada 7,5 metros, lo que hacen que haya un total de 7 pórticos con celosía Warren. En las fachadas de contraviento no se dispone de celosías, puesto que no son necesarias al estar colocados pilares cada 4 metros que suben hasta el cordón superior.

Sobre la cubierta van colocadas corras cada 2,021 metros perpendiculares al cordón superior de la celosía con el fin de transmitir las cargas de viento entre otras a la celosía. Cada 3,75 metros se han dispuesto tirantillas con la misión de proporcionar resistencia frente al momento flector en el eje débil.

Entre el pórtico de la fachada de contraviento que no está unida a la estructura auxiliar y el siguiente pórtico intermedio, se han dispuesto cruces de San Andrés verticales de pilar a pilar para impedir los movimientos horizontales originados por la acción del viento. Del mismo modo, entre los cordones superiores en este mismo vano se ha adoptado la misma solución, disponiendo estas cruces con la inclinación conveniente para cada tramo marcado por la celosía cilíndrica.

Los perfiles metálicos que componen cada uno de los elementos estructurales de la estructura auxiliar son los siguientes:

- Cordón superior: HEB 200
- Cordón inferior: HEB 160
- Diagonales: 2xUPN 100 en cajón soldado
- Pilares hastiales: HEB 280
- Pilares pórtico intermedio: HEB 280
- Correas: IPE 220
- Cruces de San Andrés fachada lateral: UPN 180
- Cruces de San Andrés Cubierta: UPN 100

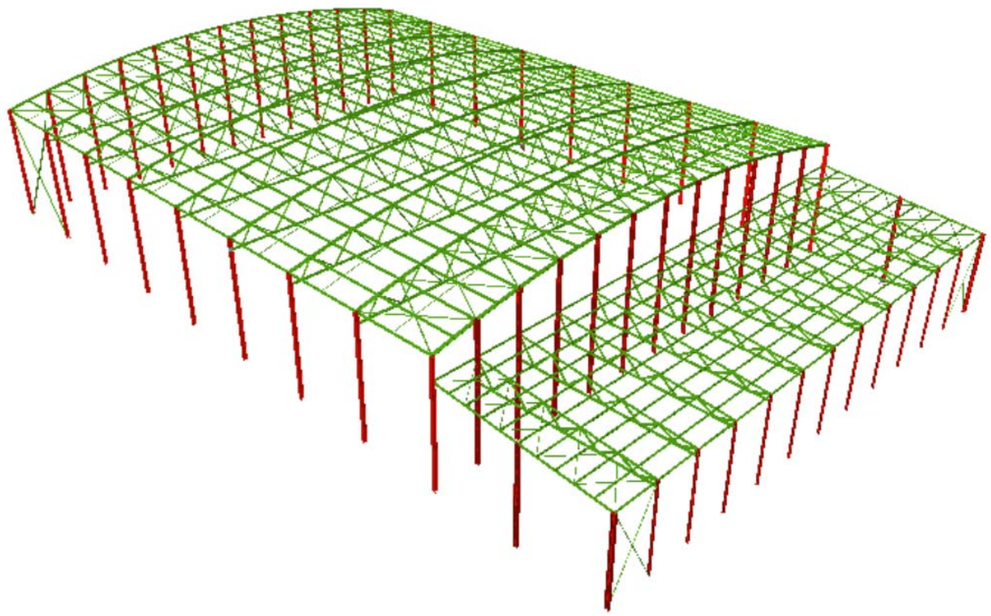


Imagen 2– Modelo 3D de la estructura para envolvente del edificio. Fuente: Propia

Siguiendo con el criterio tomado anteriormente, las dimensiones de la estructura auxiliar son de 15 metros de longitud y 48 metros de anchura. Tiene una superficie de 720 metros cuadrados. Presenta una luz principal de 15 metros de longitud salvados por un pórtico con celosía tipo Warren a un agua, con una pendiente de 5,71º. La estructura tiene una altura total de 9 metros en su punto más alto, y de 7,5 metros en su punto más bajo. Los pórticos están situados cada 4 metros coincidiendo con los pilares de la fachada frontal de la estructura principal y hay un total de 11 pórticos. Los pórticos frontales, al igual que en la estructura principal están formados por un cordón superior y un pilar intermedio separado 3,75 metros de cada extremo. Sobre la cubierta se disponen correas separadas 1,5 metros.

Al igual que en la estructura principal, se disponen cruces de San Andrés entre los primeros pórticos intermedios y los pórticos exteriores y en la cubierta en el primer vano de pórticos en ambos lados.

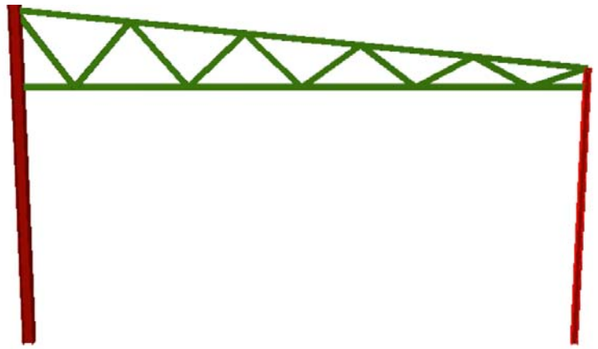


Imagen 3 – Pórtico tipo de la estructura auxiliar. Fuente: Propia

Los perfiles metálicos que componen cada uno de los elementos estructurales de la estructura auxiliar son los siguientes:

- Cordón superior: IPE 160
- Cordón inferior: IPE 180
- Diagonales: IPE 160
- Pilares hastiales: HEB 280
- Pilares pórtico intermedio: HEB 160
- Correas: IPE 160
- Cruces de San Andrés fachada lateral: UPN 50
- Cruces de San Andrés Cubierta: UPN 50

2. Combinación de acciones de la estructura para envolvente del edificio

2.1. Combinaciones para Estado Límite Último

A continuación, se muestran todas las combinaciones posibles de cargas que pueden ocurrir para los Estados límite últimos de resistencia y estabilidad. Al introducir las combinaciones de acciones en el programa de cálculo se ha definido que la acción del viento no es concomitante con la sobrecarga de uso, puesto que un día que haga mucho viento no se prevé que se vayan a realizar labores de mantenimiento.

Todas las situaciones, suman un total de 60 combinaciones que se muestran en la siguiente tabla:

Comb.	PP	CM 1	Q 1	V 0	V 90	V 180	V 270	N 1
1	1.000	1.000						
2	1.350	1.000						
3	1.000	1.350						
4	1.350	1.350						
5	1.000	1.000		1.500				
6	1.350	1.000		1.500				
7	1.000	1.350		1.500				
8	1.350	1.350		1.500				
9	1.000	1.000			1.500			
10	1.350	1.000			1.500			
11	1.000	1.350			1.500			
12	1.350	1.350			1.500			
13	1.000	1.000				1.500		
14	1.350	1.000				1.500		
15	1.000	1.350				1.500		
16	1.350	1.350				1.500		
17	1.000	1.000					1.500	
18	1.350	1.000					1.500	
19	1.000	1.350					1.500	
20	1.350	1.350					1.500	
21	1.000	1.000						1.500
22	1.350	1.000						1.500
23	1.000	1.350						1.500
24	1.350	1.350						1.500
25	1.000	1.000		0.900				1.500
26	1.350	1.000		0.900				1.500
27	1.000	1.350		0.900				1.500
28	1.350	1.350		0.900				1.500
29	1.000	1.000			0.900			1.500
30	1.350	1.000			0.900			1.500
31	1.000	1.350			0.900			1.500
32	1.350	1.350			0.900			1.500
33	1.000	1.000				0.900		1.500
34	1.350	1.000				0.900		1.500
35	1.000	1.350				0.900		1.500
36	1.350	1.350				0.900		1.500
37	1.000	1.000					0.900	1.500

Comb.	PP	CM 1	Q 1	V 0	V 90	V 180	V 270	N 1
38	1.350	1.000					0.900	1.500
39	1.000	1.350					0.900	1.500
40	1.350	1.350					0.900	1.500
41	1.000	1.000		1.500				0.750
42	1.350	1.000		1.500				0.750
43	1.000	1.350		1.500				0.750
44	1.350	1.350		1.500				0.750
45	1.000	1.000			1.500			0.750
46	1.350	1.000			1.500			0.750
47	1.000	1.350			1.500			0.750
48	1.350	1.350			1.500			0.750
49	1.000	1.000				1.500		0.750
50	1.350	1.000				1.500		0.750
51	1.000	1.350				1.500		0.750
52	1.350	1.350				1.500		0.750
53	1.000	1.000					1.500	0.750
54	1.350	1.000					1.500	0.750
55	1.000	1.350					1.500	0.750
56	1.350	1.350					1.500	0.750
57	1.000	1.000	1.500					
58	1.350	1.000	1.500					
59	1.000	1.350	1.500					
60	1.350	1.350	1.500					

2.2. Combinaciones para Estado Límite de Servicio

Comb.	PP	CM 1	Q 1	V 0	V 90	V 180	V 270	N 1
1	1.000	1.000						
2	1.000	1.000		1.000				
3	1.000	1.000			1.000			
4	1.000	1.000				1.000		
5	1.000	1.000					1.000	
6	1.000	1.000						1.000
7	1.000	1.000		1.000				1.000
8	1.000	1.000			1.000			1.000
9	1.000	1.000				1.000		1.000
10	1.000	1.000					1.000	1.000
11	1.000	1.000	1.000					
12	1.000	1.000	1.000	1.000				
13	1.000	1.000	1.000		1.000			
14	1.000	1.000	1.000			1.000		
15	1.000	1.000	1.000				1.000	
16	1.000	1.000	1.000					1.000
17	1.000	1.000	1.000	1.000				1.000
18	1.000	1.000	1.000		1.000			1.000
19	1.000	1.000	1.000			1.000		1.000
20	1.000	1.000	1.000				1.000	1.000

3. Modelo estructural de la estructura para envolvente del edificio

3.1. Programa de cálculo empleado

La geometría de la estructura se ha definido con el programa de diseño asistido por computadora Autodesk Autocad 2016. Se ha optado por un modelo en tres dimensiones, en el que primero se han definido los pórticos intermedios de la estructura principal en dos dimensiones y se han ido copiando para darle forma a la estructura. Posteriormente se han introducido el resto de elementos estructurales, como correas, tirantillas, cruces de San Andrés, pilares en los pórticos hastiales, etc.

Una vez definida la estructura principal, se ha procedido del mismo modo con la estructura auxiliar, insertándola a la primera, eliminando las barras comunes para que no estén duplicadas en el programa de cálculo.

El siguiente paso es exportar la estructura ya definida geométricamente al programa de cálculo CYPE 2015, al módulo Metal 3D. El análisis de las solicitaciones se realiza mediante un cálculo en tres dimensiones, por métodos matriciales de rigidez.

El proceso que se ha llevado a cabo en el programa hasta alcanzar la solución definitiva es el siguiente:

En primer lugar, se han definido las normativas que se han aplicado, tal y como se ha indicado en su respectivo apartado. Seguidamente, se han modificado los estados límite de acuerdo con nuestra actuación, en lo que se ha establecido que la sobrecarga de uso no puede ser concomitante con la carga de nieve o viento, explicado también anteriormente.

A continuación, se han añadido las hipótesis adicionales pertinentes, como son las debidas a cargas muertas, a la sobrecarga de uso, las cuatro hipótesis de viento consideradas no pudiendo actuar todas ellas simultáneamente y la carga de nieve. El peso propio lo tiene en cuenta por defecto el programa cuando se describen los perfiles que se vayan a utilizar en cada tipo de elemento estructural.

El último paso para concretar la introducción de los datos es definir las características de los materiales que ya se han mencionado anteriormente en el apartado bases de cálculo.

3.2. Modelización estructural

La estructura se ha modelizado en tres dimensiones como se ha mencionado anteriormente. A continuación, se describirá primero el proceso que se ha seguido para llegar al dimensionado de los perfiles en la estructura principal y posteriormente en la estructura auxiliar con el fin de facilitar la comprensión del proceso, teniendo en cuenta que ambas estructuras se han modelizado como si de una se tratase.

En primer lugar, se ha comenzado con la descripción de todos los nudos de la estructura, distinguiendo entre vinculaciones interiores y exteriores. Los pilares que conforman los 9 pórticos se encuentran empotrados a los pilares del aparcamiento que más adelante se detallaran. Esto significa que en estos nudos los desplazamientos son nulos en los tres ejes al igual que los giros alrededor de cada eje. Seguidamente, se procede del mismo modo con las vinculaciones interiores, estando todas las barras que conforman la celosía tipo Warren empotradas. Los pilares de los pórticos hastiales se han dispuesto articulados, ya que estos pilares trabajan esencialmente a flexión que les imponen los vientos en sus respectivas fachadas.

Las correas dispuestas cada 2,021 metros como se ha mencionado en el apartado de descripción de la estructura se encuentra empotradas entre sí los 30 primeros metros donde se articula junto con los siguientes 30 metros de correa a modo de junta de dilatación. Estas correas están articuladas con respecto al cordón superior de la celosía. La misión de estas correas es servir de soporte al cerramiento de la cubierta, aportando rigidez frente a los desplazamientos horizontales que causa el viento.

Del mismo modo en la estructura auxiliar las correas van empotradas entre sí, y articuladas en el sexto vano a los 24 metros y apoyadas sobre el cordón superior de los pórticos. Dichos pórticos están articulados en su base al igual que el pilar intermedio que se dispone en los pórticos hastiales de esta estructura para dividir el tramo de 15 metros en dos de 7,5 metros. Los nudos de la celosía se encuentran empotrados entre sí.

A continuación, se han agrupado las barras según su disposición y función con la misión de describir los perfiles de cada barra de una manera más sencilla. En las siguientes tablas se muestra el predimensionamiento de los perfiles de ambas estructuras antes de introducir las cargas, los coeficientes de pandeo, etc.

ESTRUCTURA PRINCIPAL	
GRUPO	PERFIL
Pilares Portico Intermedio	HEB 200
Cordón Superior	HEB 100
Cordón Inferior	HEB 100
Diagonales	IPE 120
Pilares Esquina	HEB 200
Pilares Hastiales	HEB 200
Correas de cubierta	IPE 180
Diagonales Cubierta	UPN 100
Diagonales Fachada	UPN 180
Correas de Fachada	IPE 160
Tirantillas	UPN 50

ESTRUCTURA AUXILIAR	
GRUPO	PERFIL
Pilares Portico Intermedio	IPE 160
Cordón Superior	IPE 160
Cordón Inferior	IPE 160
Diagonales	IPE 100
Pilares Esquina	HEB 120
Pilares Hastiales	HEB 120
Correas de cubierta	IPE 100
Diagonales Cubierta	UPN 50
Diagonales Fachada	UPN 50
Correas de Fachada	IPE 160
Tirantillas	UPN 50

Una vez descritos los perfiles para cada grupo de barras, y haberle dado la orientación correcta se aplican los coeficientes de pandeo en cada plano principal de cada barra.

Por defecto el programa tiene establecido que cada barra tiene un coeficiente de pandeo $\beta_{xy} = \beta_{xz} = 1$, por lo que los coeficientes que no se muestren a continuación, se dará por hecho que el coeficiente de pandeo en cada plano será igual a la unidad.

Antes de nada, se aclara que la asignación de los coeficientes de pandeo, en todo momento se hace referencia a los ejes locales para cada barra, y no a los ejes globales de la estructura; y que el plano débil de las barras es el paralelo a las alas que equidista de ellas, es decir, que pasa por el eje de gravedad del perfil, y es llamado plano xy según los ejes locales como se muestra en la imagen 10. Por el contrario, el plano fuerte de las barras es el plano xz, coincidente con el plano del alma del perfil.

Una vez seleccionada la barra, se abre un cuadro de dialogo en el que se tienen que configurar los coeficientes de pandeo para cada plano, así como sus coeficientes de momentos. Este coeficiente de momentos depende de cada norma y de la carga de la barra. Según el CTE, se tiene que deducir planteando las fórmulas que hay que usar para cada caso en función de los resultados del cálculo de cada barra. Es decir, se estima, se calcula y en función de su diagrama de momentos flectores en cada plano se calcula el coeficiente de momentos correcto. El proceso iterativo terminaría, cuando los valores convergiesen a unos momentos estabilizados. No obstante, como los resultados de estas expresiones suelen ser cercanos y menores que 1, y como mínimo 0,4, el programa toma por defecto el valor unidad para cada plano principal, se pueden aceptar estos valores por defecto, quedando ligeramente del lado de la seguridad.

En primer lugar, se configura los coeficientes de pandeo en el cordón superior de los pórticos intermedios:

En el plano de inercia débil de estas barras, coinciden con los pandeos en el plano de cada alero para cada pieza. En estos planos están dispuestas las correas para anclar la cubierta cada 2,021 metros. Las correas arriostraran en este plano a las barras que conforman el cordón superior haciendo que cuando pandee lo haga serpenteando por todos los puntos de contacto con las correas, siendo estos, los puntos de inflexión de la deformada. En este caso se indica la longitud de pandeo de la barra, que es la distancia a la que se han dispuesto las correas. Por lo que el coeficiente de pandeo se deduce de la expresión $l_k = \beta \cdot l$, siendo $\beta = 2{,}021/2{,}021 = 1$. Con indicar la longitud de pandeo el programa ya deduce el coeficiente de pandeo, por lo que en el resto de barras se introducirá esta longitud cuando sea conocida tal y como se muestra en la siguiente imagen:

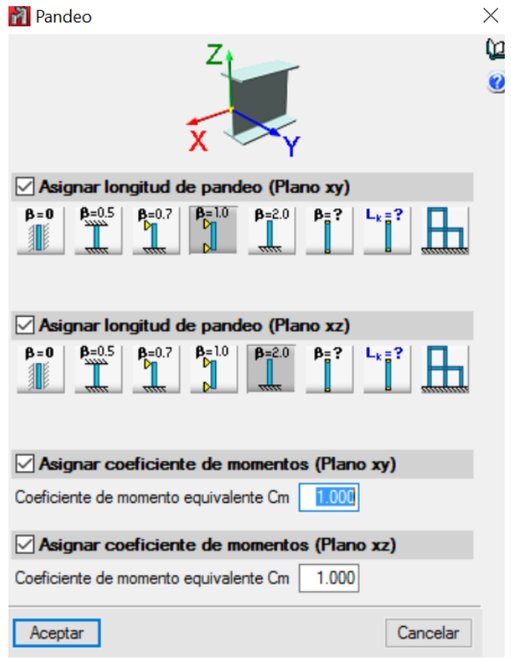


Imagen 4 –. Asignación de coeficientes de pandeo en Cype 3D

Por otra parte, el plano de inercia fuerte, las barras están arriostradas cada 4 metros ya que se disponen dos barras entre diagonales por lo que el coeficiente de pandeo $\beta_{xz} = 2$.

El coeficiente de pandeo β_{xz} en el el cordón inferior para el plano xz es igual a 2, ya que se han dispuesto tornapuntas cada 8 metros que arriostran las barras, cada una de 4 metros, en ese plano. El coeficiente de pandeo en el plano xy es igual a 1.

En el plano de inercia fuerte los pilares de los pórticos intermedios se ha considerado un coeficiente de pandeo igual a 1. Sin embargo, en el eje débil se pueden apreciar arriostramientos cada 1,40 metros debido a las correas de fachada, por lo que se ha fijado la longitud de pandeo l_k=1,40 metros lo que proporciona un coeficiente de pandeo en el plano xy igual a 0,14.

Del mismo modo que ocurre con los pórticos intermedios, el coeficiente de pandeo en el plano xz es igual a 2 mientras que, en el eje débil, plano xy es igual a 1. A los pilares hastiales se les aplica el mismo coeficiente de pandeo que al resto de los pilares siendo β_{xz} = 1 y l_k=1,40 metros por los arriostramientos de las correas de fachada.

De la estructura principal, únicamente falta definir los coeficientes de pandeo de las correas. Las correas están arriostradas en el eje fuerte cada 7,5 metros por las celosías por lo que su coeficiente de pandeo en el eje fuerte es igual a la unidad, mientras que en el plano xy, o en su eje débil se disponen tirantillas, que junto con los cordones superiores de las celosías arriostran las correas cada 3,75 metros por lo que el coeficiente de pandeo en el plano débil es igual a 0,5.

En cuanto a la estructura auxiliar, se procede del mismo que con la principal. El cordón superior de los pórticos intermedios y de los pórticos hastiales tienen un coeficiente de pandeo en el plano xy igual a la unidad debido a que las correas están separadas 1,50 metros coincidiendo esta distancia con la distancia entre barras. En el plano xz el coeficiente de pandeo es igual a 2 ya que hay dos diagonales de por medio entre barras.

Para el cordón inferior se ha escogido un coeficiente de pandeo en el plano xz igual a la unidad, mientras que en el eje débil la longitud de pandeo l_k=2 debido a que debajo de la celosía se disponen de correas cada 2 metros que en arriostran la estructura en caso de que esta entre en compresión y al mismo tiempo sirve para colgar de ellas el falso techo y otras instalaciones necesarias, con el fin de que en la zona del gimnasio no haya pilares intermedios.

Del mismo modo que se ha comentado anteriormente con los pilares de los pórticos intermedio y hastiales, en la estructura auxiliar, estos tienen una longitud de pandeo en el plano xy igual a 1,40 metros debido a las correas de fachada, mientras que en el plano xz su coeficiente de pandeo es igual a 1.

Para concluir la definición de los coeficientes de pandeo, las correas de la cubierta de la estructura auxiliar presentan un coeficiente de pandeo en ambos planos igual a la unidad.

A continuación, se muestra una tabla en la que aparecen los coeficientes de pandeo o longitud de pandeo en su caso, para las barras más representativas, con el fin de una mejor visualización global:

ESTRUCTURA PRINCIPAL		
GRUPO	βxy/lk	βxz/lk
Pilares Portico Intermedio	1,40 metros	1
Cordón Superior	1	2
Cordón Inferior	1	2
Pilares Hastiales	1,40 metros	
Correas de cubierta	0,5	1
Porticos Hastiales	1	2

ESTRUCTURA AUXILAIR		
GRUPO	βxy/lk	βxz/lk
Pilares Portico Intermedio	1,40 metros	1
Cordón Superior	1	2
Cordón Inferior	1	2 metros
Pilares Hastiales	1,40 metros	1
Correas de cubierta	1	1
Porticos Hastiales	1	2

En cuanto al pandeo lateral se han escogido los mismos coeficientes que para el pandeo, tanto para el ala superior como para el ala inferior, estando así del lado de la seguridad.

Para concluir solo queda introducir las acciones, las cuales han quedado ya lo suficientemente detalladas en su respectivo apartado, y la limitación de flechas. Se ha introducido una limitación de flecha en aquellas barras que se han considerado que pueden sufrir una deformación que produjese una sensación desagradable debido a la flexión, y que no presentan una adecuada aptitud al servicio.

La limitación de flecha considerada es la flecha total o máxima, que es la que se produce ante la combinación pésima de acciones cuasi-permanentes. Es la suma de la flecha activa más la que ya tenía el elemento debido a su peso propio, medida justo antes del momento de construirse el elemento dañable; o lo que es lo mismo, la suma de todas las flechas instantáneas producidas por todas las cargas más sus correspondientes diferidas.

Los elementos en los que se ha considerado una limitación de flecha son los pialares con una limitación de flecha máxima en los planos xy y xz de 1/300; y en las correas donde la flecha límite relativa es de 1/250 en ambos planos.

4. Envolvente de esfuerzos de la estructura para envolvente del edificio

A continuación, se pueden observar una serie de tablas que muestran los esfuerzos máximos y mínimos. Dichos esfuerzos son los más desfavorables para cada grupo de barras, y se han obtenido a partir de los listados que nos permite imprimir el Cype 3D una vez calculada la estructura.

4.1. Estructura Principal

Pilar Pórtico	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-488,464	-0,498	-110,5	-0,02	-383,86	-5,62
ELU	Maximo	80,491	0,469	81,57	0,02	314,16	5,29

Pilar Hastial	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-74,197	-1,389	-41,938	0	0	0
ELU	Maximo	-6,742	1,391	30,96	0	0	0

Cordon	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
Superior	Minimo	-1273,622	-0,566	-4,83	0	0,79	-0,56
ELU	Maximo	373,205	0,497	3,954	0,01	3,05	0,61

Cordón	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
Inferior	Minimo	-363,424	0	-1,186	0	-1,54	-0,14
ELU	Maximo	1238,656	0	-0,798	0	1,91	0,14

Diagonales celosía ELU	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-367,076	-3,476	-1,512	-0,95	-1,24	-1,23
	Maximo	140,866	1,963	3,32	0,39	2,92	0,62

Correas cL ELU	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-1,445	-0,043	-7,456	0	-8,5	-0,57
	Maximo	6,111	0,176	2,991	0	20,99	1,1

Cruz Lateral ELU	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-301,052	-0,093	-2,094	0	-6,87	-0,69
	Maximo	296,711	0,074	-0,156	0	1,47	0,6

Cruz cubierta ELU	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-122,087	0,226	-0,012	0	-0,08	0,26
	Maximo	128,361	0,338	0,029	0	0,13	0,53

4.2. Estructura auxiliar

Pilar Pórtico ELU	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-81,422	0,043	-18,534	-0,03	-31,05	-0,11
	Maximo	32,306	0,147	26,953	0,01	44,14	0,53

Cordón Superior ELU	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-20,175	-0,832	-11,536	-0,04	-3,00	-0,43
	Maximo	42,111	0,966	10,92	-0,01	2,89	0,57

Cordón Inferior ELU	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-131,723	-0,064	-0,733	0,000	-1,430	-0,070
	Maximo	195,924	0,093	-0,063	0,000	1,400	0,260

Diagonales ELU	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-83,215	-0,097	-0,310	0,000	-0,790	0,010
	Maximo	51,938	0,010	0,609	0,000	1,130	0,350

Cruz Lateral ELU	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-23,743	-0,008	-0,151	0,000	-0,220	-0,040
	Maximo	22,068	0,013	-0,112	0,000	-0,160	0,050

Cruz Cubierta ELU	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-15,967	0,170	-0,007	0,000	0,010	0,160
	Maximo	17,189	0,241	0,004	0,000	0,030	0,240

Correas ELU	Esfuerzo	N(kN)	Vy(kN)	Vz(kN)	Mt(kN·m)	My(kN·m)	Mz(kN·m)
	Minimo	-12,771	-0,472	-5,519	0,000	0,000	0,000
	Maximo	17,592	0,458	6,704	0,000	0,000	0,000

5. Comprobaciones y dimensionamiento

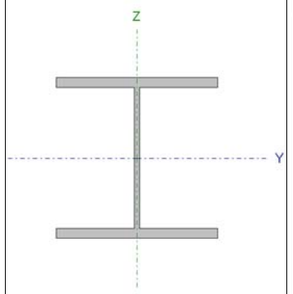
A continuación, se procede al dimensionamiento de las barras más desfavorables de cada uno de los grupos de barras mencionados anteriormente. Se ha estudiado la resistencia y la inestabilidad de los perfiles en condiciones normales y en caso de incendio.

Los cálculos se han realizado aplicando la Instrucción Española de Acero Estructural (EAE) y el Código Técnico de la Edificación.

5.1. Pilar pórtico estructura principal

Barra N619/N162

Perfil: HE 280 B
Material: Acero (S275 (EAE))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N619	N162	10.000	131.40	19270.00	6595.00	143.70

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.50	1.00	0.14	0.14
L_K	5.000	10.000	1.400	1.400
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Situación de incendio

Resistencia requerida: R 90
Factor de forma: 131.23 m-1
Temperatura máx. de la barra: 638.5 °C
Pintura intumescente: 1.2 mm

Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Figura 35.1.2 de la norma EAE 2011.)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 3.0.

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

$\bar{\lambda}$: **0.95** ✓

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. (EAE 2011, Artículo 27) — **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. — **N_{cr}** : *3993.93* 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. — **$N_{cr,y}$** : *3993.93* kN

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. — **$N_{cr,z}$** : *5467.56* kN

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. — **$N_{cr,T}$** : *66618.21* kN

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

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. — **I_y** : *19270.00* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — **I_z** : *6595.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — **I_t** : *143.70* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — **I_w** : *1130000.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. — **L_{ky}** : *10.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. — **L_{kz}** : *5.000* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. — **L_{kt}** : *1.400* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. — **i_0** : *14.03* cm

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

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. — **i_y** : *12.11* cm; **i_z** : *7.08* 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** : *0.00* mm; **z_0** : *0.00* mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 35.8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$ **23.24 ≤ 163.34** ✓

Donde:

h_w: Altura del alma. — h_w : *244.00* mm

t_w: Espesor del alma. — t_w : *10.50* mm

A_w: Área del alma. — A_w : *25.62* cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida. — $A_{fc,ef}$: *50.40* cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. — **k** : *0.30*

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000* MPa

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. — f_{yf} : *275.00* MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.031*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N162, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V90.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. — $N_{t,Ed}$: *105.61* kN

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

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$ $N_{t,Rd}$: *3441.43* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. — **A** : *131.40* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.142*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.226*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N619, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. — $N_{c,Ed}$: *488.46* kN

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$ $N_{c,Rd}$: *3441.43* 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** : *131.40* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.1)

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$ $N_{b,Rd}$: *2162.04* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. — **A** : *131.40* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

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

χ_y : *0.63*
χ_z : *0.65*
χ_T : *0.98*

Siendo:

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

ϕ_y : *1.08*
ϕ_z : *0.98*
ϕ_T : *0.54*

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : *0.34*
α_z : *0.49*
α_T : *0.49*

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

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

$\bar{\lambda}_y$: *0.95*
$\bar{\lambda}_z$: *0.81*
$\bar{\lambda}_T$: *0.23*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: — N_{cr} : *3993.93* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. — $N_{cr,y}$: *3993.93* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. — $N_{cr,z}$: *5467.56* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. — $N_{cr,T}$: *66618.21* kN

Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.955*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N619, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V0+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^+ : *314.16* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N619, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^- : *383.86* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *401.76* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. — $W_{pl,y}$: *1534.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (EAE 2011, Artículo 35.2)

Si la esbeltez $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ o la relación $M_{Ed} / M_{cr} \leq 0.16$ se puede ignorar el efecto del pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.21*

M_{Ed} / M_{cr}: Relación de momentos.

M_{Ed}^+ / M_{cr}^+ : *0.033*
M_{Ed}^- / M_{cr}^- : *0.040*

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. — $W_{pl,y}$: *1534.00* cm³

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. — M_{cr} : *9562.99* kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral 'M_{cr}' se determina de la siguiente forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{\left[\left(\frac{k_z}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j\right)^2\right]^{0.5} - \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j\right)\right\}$$

Siendo:

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — I_z : *6595.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — I_t : *143.70* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — I_w : *1130000.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000* MPa

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. — L_c^+ : *1.400* m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. — L_c^- : *1.400* m

C_1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — C_1 : *1.00*

C_2: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — C_2 : *1.00*

C_3: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — C_3 : *1.00*

k_z: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al giro de la sección transversal en los extremos de la barra. — k_z : *0.14*

k_w: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra. — k_w : *0.14*

z_g: Distancia entre el punto de aplicación de la carga y el centro de esfuerzos cortantes, respecto al eje Z. — z_g : *0.00* mm

$$z_g = z_a - z_s$$

Siendo:

z_a: Distancia en la dirección del eje Z entre el punto de aplicación de la carga y el centro geométrico. — z_a : *0.00* mm

z_s: Distancia en la dirección del eje Z entre el centro de esfuerzos cortantes y el centro geométrico. — z_s : *0.00* mm

z_j: Parámetro de asimetría de la sección, respecto al eje Y. — z_j : *0.00* mm

$$z_j = z_s - 0.5 \cdot \int_A \left(y^2 + z^2\right) \cdot \left(z/I_y\right) \cdot dA$$

Resistencia a flexión eje Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.030*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N619, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V270+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^+ : *5.29* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N619, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V90.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^- : *5.62* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *187.94* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. — $W_{pl,z}$: *717.60* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.249*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N619, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — V_{Ed} : *110.50* kN

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

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

$V_{c,Rd}$: *444.56* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. — A_v : *29.40* cm²

$$A_V = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección. — **h** : *280.00* mm

t_w: Espesor del alma. — t_w : *10.50* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (EAE 2011, Artículo 35.5)

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

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

23.24 < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. — λ_w : *23.24*

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

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. — $\lambda_{máx}$: *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material. **η** : *1.20*

ε: Factor de reducción. **ε** : *0.92*

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

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

η < ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V90.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.50* kN

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

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

$V_{c,Rd}$: *1599.51* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *105.78* cm²

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

Siendo:

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

d: Altura del alma. **d** : *244.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *10.50* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

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

110.50 kN ≤ 222.28 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *110.50* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *444.56* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

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

0.50 kN ≤ 799.75 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V90.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.50* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *1599.51* kN

Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}}\right]^{\beta} \leq 1$$

η : ***0.913*** ✓

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : ***0.958*** ✓

η : ***0.958*** ✓

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N619, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo. — **$N_{t,Ed}$** : *5.83* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. — **$M_{y,Ed}^-$** : *383.86* kN·m; **$M_{z,Ed}^-$** : *0.08* kN·m

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

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — **$M_{N,Rd,y}$** : *401.76* kN·m; **$M_{N,Rd,z}$** : *187.94* kN·m

$$\mathbf{M_{N,Rd,y}} = M_{pl,Rdy} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$n \leq a \rightarrow \mathbf{M_{N,Rd,z}} = M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = 2 \; ; \; \beta = 5 \cdot n \geq 1$$

α : *2.000*
β : *1.000*

Siendo:

$$\mathbf{n} = N_{t,Ed}/N_{pl,Rd}$$

n : *0.002*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción. — **$N_{pl,Rd}$** : *3441.43* 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. — **$M_{pl,Rd,y}$** : *401.76* kN·m; **$M_{pl,Rd,z}$** : *187.94* kN·m

$$\mathbf{a} = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \leq 0.5$$

a : *0.23*

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

b: Ancho del ala. — **b** : *28.00* cm

t_f: Espesor del ala. — **t_f** : *18.00* mm

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.3)

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

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra con mayor tensión, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — **$W_{pl,y}$** : *1534.00* cm³; **$W_{pl,z}$** : *717.60* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficientes de interacción. — **K_{yy}** : *1.00*; **K_{yz}** : *1.00*; **K_{zy}** : *1.00*; **K_{zz}** : *1.00*

χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral. — **χ_{LT}** : *1.00*

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.3)

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

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

110.50 kN ≤ 222.26 kN ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — **$V_{Ed,z}$** : *110.50* kN

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. — **$V_{c,Rd,z}$** : *444.52* kN

Resistencia a torsión - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.002*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V90.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. — **$M_{T,Ed}$** : *0.02* kN·m

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

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

$M_{T,Rd}$: *12.07* kN·m

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. — **W_T** : *79.83* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.067*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — V_{Ed} : *29.76* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. — $M_{T,Ed}$: *0.00* kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: *444.52* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. — $V_{pl,Rd}$: *444.56* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. — $\tau_{T,Ed}$: *0.03* MPa

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

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. — W_T : *79.83* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

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

η < ***0.001*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — V_{Ed} : *0.11* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. — $M_{T,Ed}$: *0.00* kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: *1599.37* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. — $V_{pl,Rd}$: *1599.51* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. — $\tau_{T,Ed}$: *0.03* MPa

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

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. — W_T : *79.83* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	M_tV_z	M_tV_y	
N619/N162	N_{Ed} = 0.00 N.P.[1]	x: 0 m η = 28.5	x: 0 m η = 47.3	x: 0 m η = 1.3	x: 0 m η = 9.5	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 70.9	η < 0.1	η = 0.1	x: 0 m η = 7.8	η < 0.1	**CUMPLE** **η = 70.9**

Notación:

N_t: Resistencia a tracción

N_c: Resistencia a compresión

M_y: Resistencia a flexión eje Y

M_z: Resistencia a flexión eje Z

V_z: Resistencia a corte Z

V_y: Resistencia a corte Y

M_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

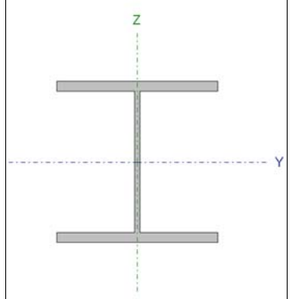
Comprobaciones que no proceden (N.P.):

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

5.2. Pilar pórtico hastial estructura principal

Barra N602/N318

Perfil: HE 280 B
Material: Acero (S275 (EAE))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N602	N318	14.000	131.40	19270.00	6595.00	143.70

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.50	1.00	0.10	0.10
L_K	7.000	14.000	1.400	1.400
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Situación de incendio

Resistencia requerida: R 90
Factor de forma: 131.23 m-1
Temperatura máx. de la barra: 873.0 °C
Pintura intumescente: 0.4 mm

Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente (Basado en: Figura 35.1.2 de la norma EAE 2011.)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 3.0.

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

$\bar{\lambda}$: **1.33** ✓

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. (EAE 2011, Artículo 27) — **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. — **N_{cr}** : *2037.72* 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. — **$N_{cr,y}$** : *2037.72* kN

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. — **$N_{cr,z}$** : *2789.57* kN

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. — **$N_{cr,T}$** : *66618.21* kN

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

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. — **I_y** : *19270.00* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — **I_z** : *6595.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — **I_t** : *143.70* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — **I_w** : *1130000.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. — **L_{ky}** : *14.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. — **L_{kz}** : *7.000* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. — **L_{kt}** : *1.400* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. — **i_0** : *14.03* cm

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

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. — **i_y** : *12.11* cm; **i_z** : *7.08* 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** : *0.00* mm; **z_0** : *0.00* mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 35.8)

Se debe satisfacer:

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

23.24 ≤ 163.34 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma. — **h_w** : *244.00* mm

t_w: Espesor del alma. — **t_w** : *10.50* mm

A_w: Área del alma. — **A_w** : *25.62* cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida. — **$A_{fc,ef}$** : *50.40* cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. — **k** : *0.30*

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000* MPa

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. **f_{yf}** : *275.00* MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.2)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.005*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N318, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V270.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **$N_{t,Ed}$** : *18.62* kN

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

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

$N_{t,Rd}$: *3441.43* kN

Donde:

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

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.3)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.022*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N602, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *74.20* kN

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

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

$N_{c,Rd}$: *3441.43* 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** : *131.40* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.1)

Si la esbeltez $\bar{\lambda} \leq 0.2$ o la relación **$N_{c,Ed}$ / N_{cr}** ≤ 0.04 se puede ignorar el efecto del pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida. $\bar{\lambda}$: *1.33*

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

$N_{c,Ed}$/N_{cr}: Relación de axiles. **$N_{c,Ed}$/N_{cr}** : *0.036*

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *131.40* cm²

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *2037.72* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : *2037.72* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *2789.57* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *66618.21* kN

Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.365*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.000 m del nudo N602, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V270.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *146.57* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.000 m del nudo N602, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V0+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — **M_{Ed}^-** : *108.53* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *401.76* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. — **$W_{pl,y}$** : *1534.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (EAE 2011, Artículo 35.2)

Si la esbeltez $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ o la relación **M_{Ed} / M_{cr}** ≤ 0.16 se puede ignorar el efecto del pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.21*

M_{Ed} / M_{cr}: Relación de momentos. — **M_{Ed}^+ / M_{cr}^+** : *0.015*

M_{Ed}^- / M_{cr}^- : *0.011*

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. — **$W_{pl,y}$** : *1534.00* cm³

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — **f_y** : *275.00* MPa

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. — **M_{cr}** : *9562.99* kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral 'M_{cr}' se determina de la siguiente forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right)^2 \right]^{0.5} - \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right) \right\}$$

Siendo:

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — **I_z** : *6595.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — **I_t** : *143.70* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — **I_w** : *1130000.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. — **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : *81000* MPa

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. — **L_c^+** : *1.400* m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. — **L_c^-** : *1.400* m

C_1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — **C_1** : *1.00*

C_2: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — **C_2** : *1.00*

C_3: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — **C_3** : *1.00*

k_z: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al giro de la sección transversal en los extremos de la barra. — **k_z** : *0.10*

k_w: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra. — **k_w** : *0.10*

z_g: Distancia entre el punto de aplicación de la carga y el centro de esfuerzos cortantes, respecto al eje Z. — **z_g** : *0.00* mm

$$z_g = z_a - z_s$$

Siendo:

z_a: Distancia en la dirección del eje Z entre el punto de aplicación de la carga y el centro geométrico. — **z_a** : *0.00* mm

z_s: Distancia en la dirección del eje Z entre el centro de esfuerzos cortantes y el centro geométrico. — **z_s** : *0.00* mm

z_j: Parámetro de asimetría de la sección, respecto al eje Y. — **z_j** : *0.00* mm

$$z_j = z_s - 0.5 \cdot \int_A \left(y^2 + z^2 \right) \cdot \left(z / I_y \right) \cdot dA$$

Resistencia a flexión eje Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.104*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N318, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V180+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — **M_{Ed}^+** : *19.47* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N318, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V0.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — **M_{Ed}^-** : *19.46* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *187.94* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,z}$** : *717.60* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.095*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N318, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V270+0.75·N1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *42.08* kN

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

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

$V_{c,Rd}$: *444.56* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *29.40* cm²

$$A_V = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *280.00* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *10.50* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (EAE 2011, Artículo 35.5)

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

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

23.24 < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. **λ_w** : *23.24*

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

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. **$\lambda_{máx}$** : *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material. **η** : *1.20*

ε: Factor de reducción. **ε** : *0.92*

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

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. **f_{ref}** : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V0.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *1.39* kN

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

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

$V_{c,Rd}$: *1599.51* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *105.78* cm²

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

Siendo:

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

d: Altura del alma. **d** : *244.00* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *10.50* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

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

36.69 kN ≤ 222.28 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.875 m del nudo N602, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V270.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — V_{Ed} : *36.69* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. — $V_{c,Rd}$: *444.56* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

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

1.39 kN ≤ 799.75 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.875 m del nudo N602, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V0.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — V_{Ed} : *1.39* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. — $V_{c,Rd}$: *1599.51* kN

Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}}\right]^{\beta} \leq 1$$

η : ***0.133*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : ***0.367*** ✓

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

η : ***0.191*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 7.000 m del nudo N602, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V270+0.75·N1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo. — $N_{c,Ed}$: *4.73* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{y,Ed}^{+}$: *146.43* kN·m; $M_{z,Ed}^{-}$: *0.01* kN·m

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

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{N,Rd,y}$: *401.76* kN·m; $M_{N,Rd,z}$: *187.94* kN·m

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rdy} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$n \leq a \rightarrow M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = 2 \; ; \; \beta = 5 \cdot n \geq 1$$

α : *2.000*

β : *1.000*

Siendo:

$$n = N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}$$

n : *0.001*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. — $N_{pl,Rd}$: *3441.43* 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. — $M_{pl,Rd,y}$: *401.76* kN·m; $M_{pl,Rd,z}$: *187.94* kN·m

$$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \leq 0.5$$

a : *0.23*

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

b: Ancho del ala. — **b** : *28.00* cm

t_f: Espesor del ala. — t_f : *18.00* mm

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.3)

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

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra con mayor tensión, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $W_{pl,y}$: *1534.00* cm³; $W_{pl,z}$: *717.60* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficientes de interacción.

$$\mathbf{k_{yy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : *1.00*

$$\mathbf{k_{yz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

K_{yz} : *0.71*

$$\mathbf{k_{zy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

K_{zy} : *0.52*

$$\mathbf{k_{zz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : *1.00*

Términos auxiliares:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *1.00*

$$\mathbf{C_{yy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{yy} : *1.00*

$$\mathbf{C_{yz}} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : *0.99*

$$\mathbf{C_{zy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : *1.00*

$$\mathbf{C_{zz}} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : *1.00*

$$\mathbf{a_{LT}} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

a_{LT} : *0.99*

$$\mathbf{b_{LT}} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : *0.00*

$$\mathbf{c_{LT}} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : *0.02*

$$\mathbf{d_{LT}} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : *0.00*

$$\mathbf{e_{LT}} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : *0.07*

$$\mathbf{w_y} = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$

w_y : *1.11*

$$\mathbf{w_z} = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$

w_z : *1.50*

$$\mathbf{n_{pl}} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

n_{pl} : *0.00*

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 > 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$

0.20 > **0.20**

$$\mathbf{C_{m,y}} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

$C_{m,y}$: *1.00*

$$\mathbf{C_{m,z}} = C_{m,z,0}$$

$C_{m,z}$: *1.00*

$$\mathbf{C_{m,LT}} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$

$C_{m,LT}$: *1.00*

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

ε_y : *265.22*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y,0}$: *1.00*

$C_{m,z,0}$: *1.00*

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

C_1 : *1.00*

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

χ_y : *1.00*

χ_z : *1.00*

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

χ_{LT} : *1.00*

$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$.

$\bar{\lambda}_{máx}$: *1.33*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$: *1.33*

$\bar{\lambda}_z$: *1.14*

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.21*

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme. $\bar{\lambda}_0$: *0.20*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{el,y}$: *1376.43* cm³ $W_{el,z}$: *471.07* cm³

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: *2037.72* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: *2789.57* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: *66618.21* kN

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. I_y : *19270.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. I_t : *143.70* cm4

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.3)

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 0.875 m del nudo N602, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V270.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **36.69 kN ≤ 222.28 kN** ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,z}$: *36.69* kN

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,z}$: *444.56* kN

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N602/N318	N_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	x: 0 m η = 27.9	x: 7 m η = 48.7	x: 14 m η = 12.5	x: 14 m η = 11.4	η = 0.1	x: 0.875 m η < 0.1	x: 0.875 m η < 0.1	x: 6.125 m η = 64.8	x: 0.875 m η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	N.P.(3)	N.P.(3)	**CUMPLE** **η = 64.8**

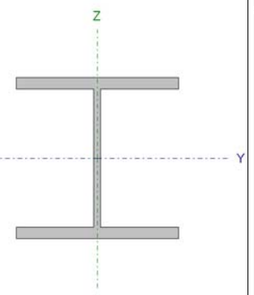
Notación:
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y 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 axil de tracción.
(2) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
(3) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

5.3. Cordón superior pórticos estructura principal

Barra N106/N107

Perfil: HE 200 B
Material: Acero (S275 (EAE))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N106	N107	2.020	78.10	5696.00	2003.00	59.28

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	2.00	1.00	1.00
L_K	2.020	4.039	2.021	2.021
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Situación de incendio

Resistencia requerida: R 90
Factor de forma: 156.97 m-1
Temperatura máx. de la barra: 645.0 °C
Pintura intumescente: 1.4 mm

Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente (Basado en: Figura 35.1.2 de la norma EAE 2011.)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 3.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$ $\bar{\lambda}$: ***0.54*** ✓

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. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. N_{cr} : *7234.96* 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. $N_{cr,y}$: *7234.96* kN

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: *10176.71* kN

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: *13678.42* kN

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

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. I_y : *5696.00* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. I_z : *2003.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. I_t : *59.28* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : *171100.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. L_{ky} : *4.039* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. L_{kz} : *2.020* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. L_{kt} : *2.021* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. i_0 : *9.93* cm

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

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. i_y : *8.54* cm; i_z : *5.06* cm

y_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 : *0.00* mm; z_0 : *0.00* mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 35.8)

Se debe satisfacer:

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

18.89 ≤ 163.60 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma. h_w : *170.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *9.00* mm

A_w: Área del alma. A_w : *15.30* cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida. $A_{fc,ef}$: *30.00* cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. **k** : *0.30*

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : *275.00* MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.2)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.182*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N107, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: *373.22* kN

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

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

$N_{t,Rd}$: *2045.48* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *78.10* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.3)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.623*** ✓

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

η : ***0.721*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N106, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *1273.62* kN

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

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

$N_{c,Rd}$: *2045.48* 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** : *78.10* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.1)

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

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

$N_{b,Rd}$: *1766.87* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *78.10* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

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

χ_y : *0.86*
χ_z : *0.87*
χ_T : *0.90*

Siendo:

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

ϕ_y : *0.71*
ϕ_z : *0.67*
ϕ_T : *0.63*

α: Coeficiente de imperfección elástica. **α_y** : *0.34*
α_z : *0.49*
α_T : *0.49*

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

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

$\bar{\lambda}_y$: *0.54*
$\bar{\lambda}_z$: *0.46*
$\bar{\lambda}_T$: *0.40*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *7234.96* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : *7234.96* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *10176.71* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *13678.42* kN

Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.056*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N107, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *9.51* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N107, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *6.79* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *168.27* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,y}$** : *642.50* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (EAE 2011, Artículo 35.2)

Si la esbeltez $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ o la relación $M_{Ed} / M_{cr} \leq 0.16$ se puede ignorar el efecto del pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.39*

M_{Ed} / M_{cr}: Relación de momentos.

M_{Ed}^+ / M_{cr}^+ : *0.008*

M_{Ed}^- / M_{cr}^- : *0.006*

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. — $W_{pl,y}$: *642.50* cm³

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. — M_{cr} : *1170.69* kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral 'M_{cr}' se determina de la siguiente forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right)^2 \right]^{0.5} - \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right) \right\}$$

Siendo:

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. — I_z : *2003.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. — I_t : *59.28* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — I_w : *171100.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. — E : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. — G : *81000* MPa

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. — L_c^+ : *2.021* m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. — L_c^- : *2.021* m

C_1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — C_1 : *1.00*

C_2: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — C_2 : *1.00*

C_3: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — C_3 : *1.00*

k_z: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al giro de la sección transversal en los extremos de la barra. — k_z : *1.00*

k_w: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra. — k_w : *1.00*

z_g: Distancia entre el punto de aplicación de la carga y el centro de esfuerzos cortantes, respecto al eje Z. — z_g : *0.00* mm

$$z_g = z_a - z_s$$

Siendo:

z_a : *0.00* mm

z_a: Distancia en la dirección del eje Z entre el punto de aplicación de la carga y el centro geométrico.

z_s: Distancia en la dirección del eje Z entre el centro de esfuerzos cortantes y el centro geométrico. — z_s : *0.00* mm

z_j: Parámetro de asimetría de la sección, respecto al eje Y. — z_j : *0.00* mm

$$z_j = z_s - 0.5 \cdot \int_A \left(y^2 + z^2 \right) \cdot \left(z / I_y \right) \cdot dA$$

Resistencia a flexión eje Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.008*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N106, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V270+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^+ : *0.61* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N106, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. — M_{Ed}^- : *0.56* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *80.09* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. — $W_{pl,z}$: *305.80* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.020** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N107, para la combinación de acciones 1.35·PP+CM1+1.5·V180.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 5.43 kN

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

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

$V_{c,Rd}$: 272.18 kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : 18.00 cm²

$$A_V = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección. h : 200.00 mm

t_w: Espesor del alma. t_w : 9.00 mm

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

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (EAE 2011, Artículo 35.5)

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

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

18.89 < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : 18.89

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

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: 55.46

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material. η : 1.20

ε: Factor de reducción. ε : 0.92

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

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : 235.00 MPa

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : 275.00 MPa

Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 0.57 kN

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

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

$V_{c,Rd}$: 949.60 kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : 62.80 cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección bruta. A : 78.10 cm²

d: Altura del alma. d : 170.00 mm

t_w: Espesor del alma. t_w : 9.00 mm

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

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **4.83 kN ≤ 136.09 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *4.83* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *272.18* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **0.57 kN ≤ 474.80 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.57* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *949.60* kN

Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}}\right]^{\beta} \leq 1$$ η : ***0.018*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$ η : ***0.794*** ✓

η : ***0.765*** ✓

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N107, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo. $N_{c,Ed}$: *1273.61* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^{+}$: *9.51* kN·m; $M_{z,Ed}^{-}$: *0.51* kN·m

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

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{N,Rd,y}$: *71.82* kN·m; $M_{N,Rd,z}$: *59.36* kN·m

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rdy} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$n > a \rightarrow M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a}\right)^2\right]$$

$\alpha = 2$; $\beta = 5 \cdot n \geq 1$ α : *2.000* ; β : *3.113*

Siendo:

$n = N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}$ n : *0.623*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd}$: *2045.48* 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. $M_{pl,Rd,y}$: *168.27* kN·m; $M_{pl,Rd,z}$: *80.09* kN·m

$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \leq 0.5$ a : *0.23*

A: Área de la sección bruta. A : *78.10* cm²

b: Ancho del ala. b : *20.00* cm

t_f: Espesor del ala. t_f : *15.00* mm

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.3)

A: Área de la sección bruta. A : *78.10* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra con mayor tensión, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{pl,y}$: *642.50* cm³; $W_{pl,z}$: *305.80* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficientes de interacción.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : *1.23*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

K_{yz} : *0.53*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

K_{zy} : *0.70*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : *0.89*

Términos auxiliares:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *0.97*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *0.98*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{yy} : *1.06*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : *1.44*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : *0.98*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : *1.26*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

a_{LT} : *0.99*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : *0.00*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : *0.02*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : *0.26*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$

w_y : *1.13*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$

w_z : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

n_{pl} : *0.62*

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 > 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$

0.39 > **0.19**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

$C_{m,y}$: *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$

$C_{m,z}$: *1.00*

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$

$C_{m,LT}$: *1.11*

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

ε_y : *0.09*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. — $C_{m,y,0}$: *1.00*; $C_{m,z,0}$: *1.00*

C_1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. — C_1 : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — χ_y : *0.86*

	χ_z :	0.87
χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral.	χ_{LT} :	1.00
$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$.	$\bar{\lambda}_{máx}$:	0.54
$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	$\bar{\lambda}_y$:	0.54
	$\bar{\lambda}_z$:	0.46
$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez reducida.	$\bar{\lambda}_{LT}$:	0.39
$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme.	$\bar{\lambda}_0$:	0.39

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{el,y}$:	569.60	cm³
	$W_{el,z}$:	200.30	cm³
$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.	$N_{cr,y}$:	7234.96	kN
$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	$N_{cr,z}$:	10176.71	kN
$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	$N_{cr,T}$:	13678.42	kN
I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y :	5696.00	cm4
I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t :	59.28	cm4

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.3)

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+1.35·CM1+1.5·Q1.

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

4.83 kN ≤ 136.06 kN ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	$V_{Ed,z}$:	4.83	kN
$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$V_{c,Rd,z}$:	272.11	kN

Resistencia a torsión - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: 0.01 kN·m

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

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

$M_{T,Rd}$: 5.98 kN·m

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.	W_T :	39.52	cm³
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} :	261.90	MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27)	f_y :	275.00	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	1.05	

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.018** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N106, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 4.83 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: 272.11 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$V_{pl,Rd}$:	272.18	kN
$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.	$\tau_{T,Ed}$:	0.09	MPa

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

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.	W_T :	39.52	cm³
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} :	261.90	MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27)	f_y :	275.00	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	1.05	

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.001*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.50* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. **$M_{T,Ed}$** : *0.00* kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: *949.37* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **$V_{pl,Rd}$** : *949.60* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. **$\tau_{T,Ed}$** : *0.09* MPa

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

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. **W_T** : *39.52* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	M_yV_z	M_zV_y	
N106/N107	N_{Ed} = 0.00 N.P.[1]	x: 0 m η = 70.0	x: 1.818 m η = 4.0	x: 0 m η = 0.6	x: 0 m η = 1.1	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 2.02 m η = 74.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 0.7	η < 0.1	**CUMPLE** **η = 74.4**

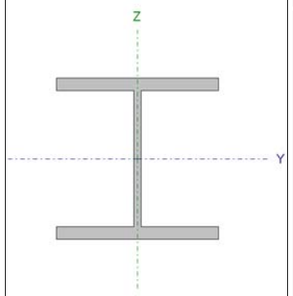
Notación:
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_y: Resistencia a flexión eje Y
M_z: Resistencia a flexión eje Z
V_z: Resistencia a corte Z
V_y: Resistencia a corte Y
M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y 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_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_zV_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.

5.4. Cordón inferior pórticos estructura principal

Barra N168/N169

Perfil: HE 160 B
Material: Acero (S275 (EAE))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y[1] (cm4)	I_z[1] (cm4)	I_t[2] (cm4)
N168	N169	4.000	54.30	2492.00	889.20	31.24

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	2.00	1.00	1.00
L_K	4.000	8.000	4.000	4.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Situación de incendio

Resistencia requerida: R 90
Factor de forma: 180.43 m-1
Temperatura máx. de la barra: 680.5 °C
Pintura intumescente: 1.4 mm

Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Figura 35.1.2 de la norma EAE 2011.)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 3.0.

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

$\bar{\lambda}$: ***1.36*** ✓

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** : *54.30* cm²

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr}** : *807.03* 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. $N_{cr,y}$: *807.03* kN

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: *1151.86* kN

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: *5061.03* kN

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

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. I_y : *2492.00* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. I_z : *889.20* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. I_t : *31.24* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : *47940.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. L_{ky} : *8.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. L_{kz} : *4.000* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. L_{kt} : *4.000* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. i_0 : *7.89* cm

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

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. i_y : *6.77* cm; i_z : *4.05* 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 : *0.00* mm; z_0 : *0.00* mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 35.8)

Se debe satisfacer:

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

16.75 ≤ 164.47 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma. h_w : *134.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *8.00* mm

A_w: Área del alma. A_w : *10.72* cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida. $A_{fc,ef}$: *20.80* cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. **k** : *0.30*

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : *275.00* MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.2)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.871*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: *1238.66* kN

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

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

$N_{t,Rd}$: *1422.14* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *54.30* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.3)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.256*** ✓

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

η : ***0.641*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *363.42* kN

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

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

$N_{c,Rd}$: *1422.14* 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** : *54.30* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.1)

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

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

$N_{b,Rd}$: *567.35* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *54.30* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

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

χ_y : *0.40*
χ_z : *0.46*
χ_T : *0.82*

Siendo:

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

ϕ_y : *1.62*
ϕ_z : *1.38*
ϕ_T : *0.73*

α: Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : *0.34*
α_z : *0.49*
α_T : *0.49*

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

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

$\bar{\lambda}_y$: *1.36*
$\bar{\lambda}_z$: *1.14*
$\bar{\lambda}_T$: *0.54*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *807.03* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : *807.03* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *1151.86* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *5061.03* kN

Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.032*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.000 m del nudo N168, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *2.94* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.000 m del nudo N168, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *0.52* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *92.71* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,y}$** : *354.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (EAE 2011, Artículo 35.2)

Si la esbeltez $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ o la relación $M_{Ed} / M_{cr} \leq 0.16$ se puede ignorar el efecto del pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.71*

M_{Ed} / M_{cr}: Relación de momentos.

M_{Ed}^+ / M_{cr}^+ : *0.015*

M_{Ed}^- / M_{cr}^- : *0.003*

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$: *354.00* cm³

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. M_{cr} : *190.53* kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral 'M_{cr}' se determina de la siguiente forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \sqrt{\left[\left(\frac{k_z}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j\right)^2\right]} - \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j\right) \right\}$$

Siendo:

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. I_z : *889.20* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. I_t : *31.24* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : *47940.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. E : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. G : *81000* MPa

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. L_c^+ : *4.000* m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. L_c^- : *4.000* m

C_1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. C_1 : *1.00*

C_2: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. C_2 : *1.00*

C_3: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. C_3 : *1.00*

k_z: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al giro de la sección transversal en los extremos de la barra. k_z : *1.00*

k_w: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra. k_w : *1.00*

z_g: Distancia entre el punto de aplicación de la carga y el centro de esfuerzos cortantes, respecto al eje Z. z_g : *0.00* mm

$$z_g = z_a - z_s$$

Siendo:

z_a: Distancia en la dirección del eje Z entre el punto de aplicación de la carga y el centro geométrico. z_a : *0.00* mm

z_s: Distancia en la dirección del eje Z entre el centro de esfuerzos cortantes y el centro geométrico. z_s : *0.00* mm

z_j: Parámetro de asimetría de la sección, respecto al eje Y. z_j : *0.00* mm

$$z_j = z_s - 0.5 \cdot \int_A \left(y^2 + z^2\right) \cdot \left(z/I_y\right) \cdot dA$$

Resistencia a flexión eje Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.003*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N169, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V270+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ : *0.15* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N169, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V90.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- : *0.15* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *44.52* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,z}$: *170.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.006*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N168, para la combinación de acciones 1.35·PP+CM1+1.5·V180.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *1.19* kN

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

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

$V_{c,Rd}$: *193.55* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *12.80* cm²

$$A_V = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *160.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *8.00* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (EAE 2011, Artículo 35.5)

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

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

16.75 < 55.46 ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *16.75*

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

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material. η : *1.20*

ε: Factor de reducción. ε : *0.92*

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

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

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

1.19 kN ≤ 96.77 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+CM1+1.5·V180.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *1.19* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *193.55* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}}\right]^{\beta} \leq 1$$

η : ***0.047*** ✓

η : ***0.903*** ✓

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : ***0.903*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.000 m del nudo N168, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo. — $N_{t,Ed}$: *1238.66* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{y,Ed}^{+}$: *2.94* kN·m; $M_{z,Ed}^{+}$: *0.01* kN·m

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

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{N,Rd,y}$: *13.55* kN·m; $M_{N,Rd,z}$: *13.73* kN·m

$$\mathbf{M_{N,Rd,y}} = M_{pl,Rdy} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$n > a \rightarrow \mathbf{M_{N,Rd,z}} = M_{pl,Rd,z} \cdot \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a}\right)^2\right]$$

$$\alpha = 2 \; ; \; \beta = 5 \cdot n \geq 1$$

α : *2.000*; β : *4.355*

Siendo:

$$\mathbf{n} = N_{t,Ed}/N_{pl,Rd}$$

n : *0.871*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción. — $N_{pl,Rd}$: *1422.14* 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. — $M_{pl,Rd,y}$: *92.71* kN·m; $M_{pl,Rd,z}$: *44.52* kN·m

$$\mathbf{a} = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \leq 0.5$$

a : *0.23*

A: Área de la sección bruta. — **A** : *54.30* cm²

b: Ancho del ala. — **b** : *16.00* cm

t_f: Espesor del ala. — t_f : *13.00* mm

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.3)

A: Área de la sección bruta. — **A** : *54.30* cm²

$W_{pl,y}$: *354.00* cm³

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra con mayor tensión, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $W_{pl,z}$: *170.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficientes de interacción. — K_{yy} : *1.00*; K_{yz} : *1.00*; K_{zy} : *1.00*; K_{zz} : *1.00*

χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral. — χ_{LT} : *1.00*

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.3)

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+CM1+1.5·V180.

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

1.19 kN ≤ 96.77 kN ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — $V_{Ed,z}$: *1.19* kN

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. — $V_{c,Rd,z}$: *193.55* kN

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_YV_Z	M_ZV_Y	
N168/N169	η = 80.2	N_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	x: 2 m η = 7.2	x: 4 m η = 0.2	x: 4 m η = 1.5	V_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	η < 0.1	N.P.(3)	x: 2 m η = 87.4	η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.(4)	N.P.(5)	N.P.(5)	**CUMPLE** **η = 87.4**

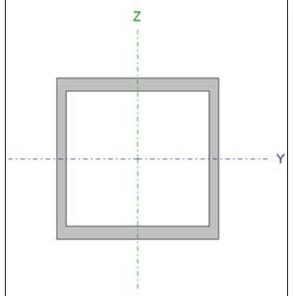
Notación:
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y 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_YV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_ZV_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 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.

5.5. Diagonales de la celosía de la estructura principal

Barra N280/N268

Perfil: UPN 100, Doble en cajón soldado (Cordón continuo)
Material: Acero (S275 (EAE))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N280	N268	1.764	27.00	412.00	379.97	566.25

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	1.764	1.764	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Situación de incendio

Resistencia requerida: R 90
Factor de forma: 148.37 m-1
Temperatura máx. de la barra: 670.5 °C
Pintura intumescente: 1.2 mm

Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Figura 35.1.2 de la norma EAE 2011.)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 3.0.

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

$\bar{\lambda}$: ***0.55*** ✓

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** : *26.96* cm²

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. N_{cr} : *2412.12* 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. $N_{cr,y}$: *2758.91* kN

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: *2412.12* kN

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

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

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

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. I_y : *414.02* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. I_z : *361.98* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. I_t : *566.25* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : *0.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. L_{ky} : *1.764* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. L_{kz} : *1.764* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. L_{kt} : *0.000* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. i_0 : *5.37* cm

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

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. i_y : *3.92* cm; i_z : *3.66* 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 : *0.00* mm; z_0 : *0.00* mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 35.8)

Se debe satisfacer:

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

13.83 ≤ 247.99 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma. h_w : *83.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *6.00* mm

A_w: Área del alma. A_w : *9.96* cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida. $A_{fc,ef}$: *8.50* cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. **k** : *0.30*

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

$\mathbf{f_{yf}}$: Límite elástico del acero del ala comprimida. $\mathbf{f_{yf}}$: *275.00* MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.2)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.200*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N268, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V90.

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{N_{t,Ed}}$: *141.17* kN

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

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

$\mathbf{N_{t,Rd}}$: *706.10* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *26.96* cm²

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

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

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.3)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.520*** ✓

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

η : ***0.640*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N280, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$\mathbf{N_{c,Ed}}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{N_{c,Ed}}$: *367.08* kN

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

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

$\mathbf{N_{c,Rd}}$: *706.10* 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** : *26.96* cm²

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

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

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.1)

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

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

$\mathbf{N_{b,Rd}}$: *573.40* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *26.96* cm²

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

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

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

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

χ_y : *0.83*

χ_z : *0.81*

Siendo:

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

ϕ_y : *0.71*

ϕ_z : *0.74*

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_y : *0.49*

α_z : *0.49*

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

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

$\bar{\lambda}_y$: *0.52*

$\bar{\lambda}_z$: *0.55*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: N_{cr} : *2412.12* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: *2758.91* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: *2412.12* kN

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

Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.123*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N268, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V90.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ : *1.25* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N268, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- : *3.17* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *25.78* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$: *98.44* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (EAE 2011, Artículo 35.2)

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

Resistencia a flexión eje Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.210*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N268, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ : *4.90* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N268, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V270.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- : *2.84* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *23.39* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,z}$: *89.31* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.024*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N268, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *3.59* kN

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

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

$V_{c,Rd}$: *150.61* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *9.96* cm²

$$A_V = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma. **d** : *83.00* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *6.00* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (EAE 2011, Artículo 35.5)

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

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

13.83 < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. **λ_w** : *13.83*

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

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. **$\lambda_{máx}$** : *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material. **η** : *1.20*

ε: Factor de reducción. **ε** : *0.92*

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

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. **f_{ref}** : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.014*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *3.48* kN

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

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

$V_{c,Rd}$: *257.06* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *17.00* cm²

$$A_V = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *26.96* cm²

d: Altura del alma. **d** : *83.00* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *6.00* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (EAE 2011, Artículo 35.5)

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

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

11.76 < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *11.76*

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material. η : *1.20*

ε: Factor de reducción. ε : *0.92*

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

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **3.32 kN ≤ 75.30 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *3.32* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *150.61* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **3.48 kN ≤ 128.53 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *3.48* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *257.06* kN

Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}}\right]^{\beta} \leq 1$$ η : ***0.093*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$ η : ***0.891*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$ η : ***0.935*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N268, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo. $N_{c,Ed}$: *366.66* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^-$: *3.17* kN·m; $M_{z,Ed}^+$: *4.90* kN·m

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

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{N,Rd,y}$: *15.20* kN·m; $M_{N,Rd,z}$: *14.99* kN·m

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1-1.13 \cdot n^2} \leq 6$$ α : *2.387*; β : *2.387*

Siendo:

$$n = N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}$$ n : *0.519*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd}$: *706.10* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y}$: *25.78* kN·m; $M_{pl,Rd,z}$: *23.39* kN·m

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \leq 0.5$$ a_w : *0.37*

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w)/A \leq 0.5$$

a_f : 0.50

A: Área de la sección bruta. — **A** : 26.96 cm²

b: Ancho del ala. — **b** : 10.00 cm

h: Canto de la sección. — **h** : 100.00 mm

t_f: Espesor del ala. — **t_f** : 8.50 mm

t_w: Espesor del alma. — **t_w** : 6.00 mm

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.3)

A: Área de la sección bruta. — **A** : 26.96 cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra con mayor tensión, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — **$W_{pl,y}$** : 98.44 cm³; **$W_{pl,z}$** : 89.31 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — **f_{yd}** : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — **f_y** : 275.00 MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — **γ_{M1}** : 1.05

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficientes de interacción.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : 1.04

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

K_{yz} : 0.66

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

K_{zy} : 0.65

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : 1.03

Términos auxiliares:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : 0.97

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : 0.97

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{yy} : 1.08

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : 1.06

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : 1.02

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : 1.11

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

a_{LT} : 0.00

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : 0.00

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : 0.00

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : 0.00

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : 0.00

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$

w_y : 1.19

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$

w_z : 1.23

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

n_{pl} : 0.52

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$$ **0.00 ≤ 0.19**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$ $C_{m,y}$: *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ $C_{m,z}$: *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$ $C_{m,LT}$: *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y,0}$: *1.00* $C_{m,z,0}$: *1.00*

C_1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. C_1 : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. χ_y : *0.83* χ_z : *0.81*

χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral. χ_{LT} : *1.00*

$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. $\bar{\lambda}_{máx}$: *0.55*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y$: *0.52* $\bar{\lambda}_z$: *0.55*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez reducida. $\bar{\lambda}_{LT}$: *0.00*

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme. $\bar{\lambda}_0$: *0.00*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{el,y}$: *82.80* cm³ $W_{el,z}$: *72.40* cm³

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: *2758.91* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: *2412.12* kN

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. I_y : *414.02* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. I_t : *566.25* cm4

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.3)

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+1.35·CM1+1.5·Q1.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$ **3.48 kN ≤ 120.72 kN** ✓

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,y}$: *3.48* kN

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,y}$: *241.45* kN

Resistencia a torsión - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.059*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: *0.95* kN·m

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$ $M_{T,Rd}$: *16.02* kN·m

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : *105.94* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.025*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N268, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *3.59* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: *0.95* kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: *141.46* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd}$: *150.61* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *9.18* MPa

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

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : *103.21* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.014*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *3.48* kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. $M_{T,Ed}$: *0.95* kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: *246.04* kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{pl,Rd}$: *257.06* kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{T,Ed}$: *6.48* MPa

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

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. W_T : *146.22* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N280/N268	N_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	x: 0 m η = 72.8	x: 1.764 m η = 10.5	x: 1.764 m η = 15.4	x: 1.764 m η = 2.2	η = 1.0	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.764 m η = 93.9	η < 0.1	η = 4.2	x: 1.764 m η = 2.2	η = 0.9	**CUMPLE** **η = 93.9**

Notación:

N_t: Resistencia a tracción

N_c: Resistencia a compresión

M_Y: Resistencia a flexión eje Y

M_Z: Resistencia a flexión eje Z

V_Z: Resistencia a corte Z

V_Y: Resistencia a corte Y

M_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

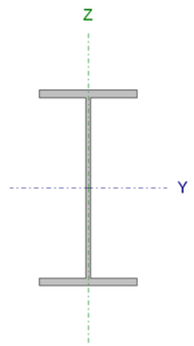
Comprobaciones que no proceden (N.P.):

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

5.6. Correas de cubierta de la estructura principal

Barra N311/N801

Perfil: IPE 220
Material: Acero (S275 (EAE))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N311	N801	3.750	33.40	2772.00	205.00	9.07

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	0.50	1.00	0.50	0.50
L_K	1.875	3.750	1.875	1.875
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Situación de incendio

Resistencia requerida: R 90
Factor de forma: 270.18 m-1
Temperatura máx. de la barra: 346.5 °C
Pintura intumescente: 7.4 mm

Limitación de esbeltez - Temperatura ambiente (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Figura 35.1.2 de la norma EAE 2011.)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 3.0.

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

$\bar{\lambda}$: ***0.87*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *33.40* cm²

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr}** : *1208.57* 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. **$N_{cr,y}$** : *4085.54* kN

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *1208.57* kN

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *2325.70* kN

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

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I_y** : *2772.00* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I_z** : *205.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. **I_t** : *9.07* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. **I_w** : *22700.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky}** : *3.750* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz}** : *1.875* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt}** : *1.875* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i_0** : *9.44* cm

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

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. **i_y** : *9.11* cm; **i_z** : *2.48* 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** : *0.00* mm; **z_0** : *0.00* mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 35.8)

Se debe satisfacer:

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

34.17 ≤ 248.36 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma. **h_w** : *201.60* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *5.90* mm

A_w: Área del alma. **A_w** : *11.89* cm²

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida. **$A_{fc,ef}$** : *10.12* cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. **k** : *0.30*

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. **f_{yf}** : *275.00* MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.2)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.007*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+CM1+1.5·V0.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **$N_{t,Ed}$** : *6.11* kN

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

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

$N_{t,Rd}$: *874.76* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *33.40* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a compresión - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.3)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.002*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+1.35·CM1+1.5·V270+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *1.45* kN

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

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

$N_{c,Rd}$: *874.76* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *33.40* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.1)

Si la esbeltez $\bar{\lambda} \leq 0.2$ o la relación **$N_{c,Ed}$ / N_{cr}** ≤ 0.04 se puede ignorar el efecto del pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida. $\bar{\lambda}$: *0.87*

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

$N_{c,Ed}$/N_{cr}: Relación de axiles. **$N_{c,Ed}$/N_{cr}** : *0.001*

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *33.40* cm²

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *1208.57* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : *4085.54* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *1208.57* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *2325.70* kN

Resistencia a flexión eje Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.375*** ✓

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

η : **0.443** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N801, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ : *27.96* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N801, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V90.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- : *11.22* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *74.64* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$: *285.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (EAE 2011, Artículo 35.2)

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

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

$M_{b,Rd}$: *63.15* kN·m

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$: *285.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

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

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

χ_{LT} : *0.85*

Siendo:

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

ϕ_{LT} : *0.80*

α_{LT}: Coeficiente de imperfección elástica. α_{LT} : *0.21*

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.70*

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. M_{cr} : *158.28* kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral 'M_{cr}' se determina de la siguiente forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{\left[\left(\frac{k_z}{k_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j\right)^2\right]^{0.5} - \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j\right)\right\}$$

Siendo:

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. I_z : *205.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. I_t : *9.07* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : *22700.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. L_c^+ : *1.875* m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. L_c^- : *1.875* m

C_1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. C_1 : *1.00*

C_2: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. C_2 : *1.00*

C_3: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. C_3 : *1.00*

k_z: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al giro de la sección transversal en los extremos de la barra. k_z : *0.25*

k_w: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra. k_w : *0.25*

z_g: Distancia entre el punto de aplicación de la carga y el centro de esfuerzos cortantes, respecto al eje Z. z_g : *0.00* mm

$$z_g = z_a - z_s$$

Siendo:

z_a: Distancia en la dirección del eje Z entre el punto de aplicación de la carga y el centro geométrico. z_a : *0.00* mm

z_s : *0.00* mm

z_s: Distancia en la dirección del eje Z entre el centro de esfuerzos cortantes y el centro geométrico.

z_j: Parámetro de asimetría de la sección, respecto al eje Y. z_j : *0.00* mm

$$z_j = z_s - 0.5 \cdot \int_A \left(y^2 + z^2\right) \cdot \left(z/I_y\right) \cdot dA$$

Resistencia a flexión eje Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.073*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.875 m del nudo N311, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^+ : *1.10* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.875 m del nudo N311, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^- : *0.57* kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: *15.22* kN·m

Donde:

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

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,z}$: *58.10* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.076*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N311, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *14.93* kN

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

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

$V_{c,Rd}$: *196.27* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *12.98* cm²

$$A_V = h \cdot t_w$$

Siendo:

h: Canto de la sección. h : *220.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *5.90* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (EAE 2011, Artículo 35.5)

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

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

34.17 < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *34.17*

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

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material. **η** : *1.20*

ε: Factor de reducción. **ε** : *0.92*

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

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.003*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N311, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *1.14* kN

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

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

$V_{c,Rd}$: *325.19* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *21.51* cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *33.40* cm²

d: Altura del alma. **d** : *201.60* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *5.90* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

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

14.00 kN ≤ 98.14 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.234 m del nudo N311, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *14.00* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *196.27* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.1)

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

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

1.00 kN ≤ 162.59 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.234 m del nudo N311, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *1.00* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *325.19* kN

Resistencia a flexión y axil combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}}\right]^{\beta} \leq 1$$

η : ***0.180*** ✓

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

η : ***0.477*** ✓

η : ***0.477*** ✓

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.047 m del nudo N311, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo. — **$N_{t,Ed}$** : *0.34* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. — **$M_{y,Ed}^+$** : *26.99* kN·m; **$M_{z,Ed}^+$** : *0.76* kN·m

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

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — **$M_{N,Rd,y}$** : *74.64* kN·m; **$M_{N,Rd,z}$** : *15.22* kN·m

$$\mathbf{M_{N,Rd,y}} = M_{pl,Rdy} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$n \leq a \rightarrow \mathbf{M_{N,Rd,z}} = M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = 2 \; ; \; \beta = 5 \cdot n \geq 1$$

α : *2.000*; β : *1.000*

Siendo:

$$\mathbf{n} = N_{t,Ed}/N_{pl,Rd}$$

n : *0.000*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción. — **$N_{pl,Rd}$** : *874.76* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. — **$M_{pl,Rd,y}$** : *74.64* kN·m; **$M_{pl,Rd,z}$** : *15.22* kN·m

$$\mathbf{a} = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \leq 0.5$$

a : *0.39*

A: Área de la sección bruta. — **A** : *33.40* cm²

b: Ancho del ala. — **b** : *11.00* cm

t_f: Espesor del ala. — **t_f** : *9.20* mm

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.3)

A: Área de la sección bruta. — **A** : *33.40* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra con mayor tensión, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — **$W_{pl,y}$** : *285.00* cm³; **$W_{pl,z}$** : *58.10* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficientes de interacción. — **K_{yy}** : *1.00*; **K_{yz}** : *1.00*; **K_{zy}** : *1.00*; **K_{zz}** : *1.00*

χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral. — **χ_{LT}** : *0.85*

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.7.3)

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 0.234 m del nudo N311, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

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

14.00 kN ≤ 98.14 kN ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. — **$V_{Ed,z}$** : *14.00* kN

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. — **$V_{c,Rd,z}$** : *196.27* kN

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N311/N801	η = 0.2	N_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	x: 3.75 m η = 17.4	x: 2.109 m η = 2.2	x: 0 m η = 2.1	x: 0 m η = 0.1	x: 0.234 m η < 0.1	x: 0.234 m η < 0.1	x: 3.281 m η = 18.4	x: 0.234 m η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	N.P.(3)	N.P.(3)	**CUMPLE** **η = 18.4**

Notación:

N_t: Resistencia a tracción

N_c: Resistencia a compresión

M_Y: Resistencia a flexión eje Y

M_Z: Resistencia a flexión eje Z

V_Z: Resistencia a corte Z

V_Y: Resistencia a corte Y

M_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 axil de compresión.

(2) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

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

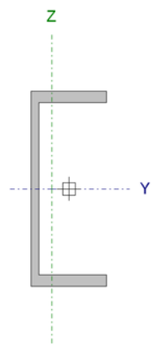
5.7. Cruz de San Andrés de fachada lateral de la estructura principal

Para los arriostramientos, se han utilizado cruces de San Andrés ya que es la solución más favorable debido a que en cada recuadro de la celosía que forma la dicha cruz, siempre hay una diagonal solicitada a tracción quedando la otra diagonal inoperante. Por este motivo, las cruces de San Andrés se han dimensionado únicamente a tracción, ya que será su forma natural de trabajar, no aportando nada cuando una de ellas este comprimida, ya que la otra estará traccionada.

Del mismo modo, para estar del lado de la seguridad, como esfuerzo de cálculo N_{Ed} se ha cogido la suma del esfuerzo axil de tracción y el de compresión en la otra cruz.

Barra N571/N306

Perfil: UPN 180
Material: Acero (S275 (EAE))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N571	N306	13.314	28.00	1350.00	114.00	9.55	-15.80	0.00

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme
(3) Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	13.314	13.314	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

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.2)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.953*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N306, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V90.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **$N_{t,Ed}$** : *698.54* kN

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

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

$N_{t,Rd}$: *733.33* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *28.00* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

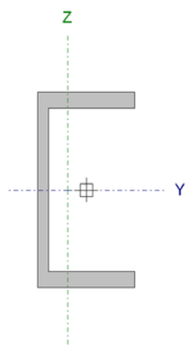
f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

5.8. Cruz de San Andrés de la cubierta de la estructura principal

Barra N306/N257

Perfil: UPN 100
Material: Acero (S275 (EAE))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N306	N257	8.519	13.50	206.00	29.30	2.81	-9.50	0.00

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme
(3) Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	8.519	8.519	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

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.2)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.972*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N257, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V270.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **$N_{t,Ed}$** : *343,71* kN

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

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

$N_{t,Rd}$: *353.57* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *13.50* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

5.9. Pilar pórtico estructura auxiliar

A partir de este punto, para las comprobaciones de los perfiles de la estructura auxiliar, únicamente se mostrarán las tablas de comprobaciones para temperatura ambiente, es decir, la situación normal de la estructura, y la comprobación en caso de incendio debido a que las comprobaciones son las mismas que en la estructura principal, las cuales están explicadas con todo tipo de detalle en los puntos anteriores.

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - TEMPERATURA AMBIENTE															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	M_tV_z	M_tV_y	
N552/N344	$\bar{\lambda} < 3.0$	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$	x: 7 m	x: 0 m	x: 0 m	x: 7 m	x: 0 m	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.8$	$\eta = 1.2$	$\eta < 0.1$	**CUMPLE**
	Cumple	Cumple	$\eta = 2.9$	$\eta = 11.8$	$\eta = 47.6$	$\eta = 1.2$	$\eta = 13.9$				$\eta = 48.5$					**η = 48.5**

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_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 (%)

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	M_tV_z	M_tV_y	
N552/N344	N_{Ed} = 0.00	x: 0 m	x: 0 m	x: 7 m	x: 0 m	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.5$	$\eta = 2.1$	$\eta = 0.1$	**CUMPLE**
	N.P.[1]	$\eta = 31.2$	$\eta = 44.3$	$\eta = 5.7$	$\eta = 10.3$				$\eta = 78.2$					**η = 78.2**

Notación:

N_t: Resistencia a tracción

N_c: Resistencia a compresión

M_y: Resistencia a flexión eje Y

M_z: Resistencia a flexión eje Z

V_z: Resistencia a corte Z

V_y: Resistencia a corte Y

M_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 axil de tracción.

5.10. Cordón superior estructura auxiliar

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - TEMPERATURA AMBIENTE															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	M_tV_z	M_tV_y	
N486/N484	$\bar{\lambda} < 3.0$	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$	x: 1.525 m	x: 0 m	x: 1.525 m	x: 1.525 m	x: 0 m	$\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.525 m	$\eta < 0.1$	$\eta = 5.5$	x: 1.525 m	$\eta = 0.1$	**CUMPLE**
	Cumple	Cumple	$\eta = 8.0$	$\eta = 3.9$	$\eta = 63.4$	$\eta = 13.3$	$\eta = 9.5$				$\eta = 75.5$			$\eta = 9.5$		**η = 75.5**

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_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 (%)

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_yM_zV_yV_z$	M_t	M_tV_z	M_tV_y	
N486/N484	x: 1.525 m	x: 0 m	x: 1.525 m	x: 1.525 m	x: 1.525 m	$\eta = 0.3$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 1.525 m	$\eta < 0.1$	$\eta = 10.8$	x: 1.525 m	$\eta = 0.1$	**CUMPLE**
	$\eta = 0.9$	$\eta = 10.3$	$\eta = 87.5$	$\eta = 7.5$	$\eta = 8.0$				$\eta = 96.8$			$\eta = 8.3$		**η = 96.8**

Notación:

N_t: Resistencia a tracción

N_c: Resistencia a compresión

M_y: Resistencia a flexión eje Y

M_z: Resistencia a flexión eje Z

V_z: Resistencia a corte Z

V_y: Resistencia a corte Y

M_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 (%)

5.11. Cordón inferior estructura auxiliar

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - TEMPERATURA AMBIENTE															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N466/N473	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	η = 31.3	η = 74.3	x: 3 m η = 5.7	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 0.5	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 81.9	η < 0.1	η = 0.2	x: 3 m η = 0.4	η < 0.1	**CUMPLE** **η = 81.9**

Notación:

$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez

λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida

N_t: Resistencia a tracción

N_c: Resistencia a compresión

M_Y: Resistencia a flexión eje Y

M_Z: Resistencia a flexión eje Z

V_Z: Resistencia a corte Z

V_Y: Resistencia a corte Y

M_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 (%)

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N466/N473	η = 53.4	N_{Ed} = 0.00 N.P.[1]	x: 1.929 m η = 24.2	x: 0 m η = 7.0	x: 0 m η = 1.7	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.929 m η = 81.0	η < 0.1	η = 0.2	x: 0 m η = 1.5	η = 0.1	**CUMPLE** **η = 81.0**

Notación:

N_t: Resistencia a tracción

N_c: Resistencia a compresión

M_Y: Resistencia a flexión eje Y

M_Z: Resistencia a flexión eje Z

V_Z: Resistencia a corte Z

V_Y: Resistencia a corte Y

M_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 axil de compresión.

5.12. Diagonales de la celosía de la estructura auxiliar

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - TEMPERATURA AMBIENTE															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N470/N469	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	x: 2.267 m η = 9.9	x: 0 m η = 42.2	x: 0 m η = 3.5	x: 2.267 m η = 8.3	x: 2.267 m η = 0.8	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 2.267 m η = 49.0	η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.[1]	N.P.[2]	N.P.[2]	**CUMPLE** **η = 49.0**

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_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 torsor.

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

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N470/N469	N_{Ed} = 0.00 N.P.[1]	x: 0 m η = 67.6	x: 0 m η = 4.2	x: 2.267 m η = 19.5	x: 2.267 m η = 1.3	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 2.267 m η = 91.0	η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.[2]	N.P.[3]	N.P.[3]	**CUMPLE** **η = 91.0**

Notación:

N_t: Resistencia a tracción

N_c: Resistencia a compresión

M_Y: Resistencia a flexión eje Y

M_Z: Resistencia a flexión eje Z

V_Z: Resistencia a corte Z

V_Y: Resistencia a corte Y

M_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 axil de tracción.

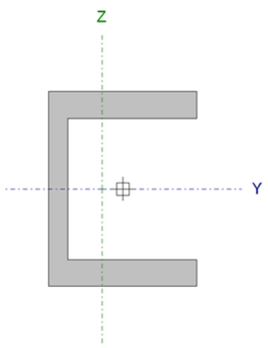
[2] La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

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

5.13. Cruz de San Andrés de la fachada lateral de la estructura auxiliar

Barra N557/N345

Perfil: UPN 50
Material: Acero (S275 (EAE))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N557	N345	8.500	7.12	26.40	9.12	1.12	-5.30	0.00

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme
(3) Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	8.500	8.500	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

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.2)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.464*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N345, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V0.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: *86.60* kN

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

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

$N_{t,Rd}$: *186.48* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *7.12* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

5.14. Cruz de San Andrés de la cubierta de la estructura auxiliar

Al igual que ocurre con las cruces de San Andrés de la fachada lateral, se han utilizado perfiles UPN 50 para las cruces de fachada ya que es el menor perfil de la serie.

Resistencia a tracción - Temperatura ambiente (EAE 2011, Artículo 34.2)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.221*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N489, para la combinación de acciones PP+CM1+1.5·V180.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. $N_{t,Ed}$: *41,15* kN

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

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

$N_{t,Rd}$: *186.48* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra. **A** : *7.12* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

5.15. Correas de la estructura auxiliar

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - TEMPERATURA AMBIENTE															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N484/N485	$\bar{\lambda} < 3.0$	x: 0.25 m	η = 3.3	η = 17.4	x: 2 m	x: 4 m	x: 0 m	x: 4 m	x: 0.25 m	x: 0.25 m	x: 2 m	x: 0.25 m	M_{Ed} = 0.00	N.P.(2)	N.P.(2)	**CUMPLE**
	Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$			η = 50.3	η = 11.6	η = 5.5	η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	η = 64.2	η < 0.1	N.P.(1)			**η = 64.2**
		Cumple														

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_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 torsor.

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

Barra	COMPROBACIONES (EAE 2011) - SITUACIÓN DE INCENDIO													Estado
	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N484/N485	η = 2.3	η = 13.4	x: 2 m	x: 4 m	x: 4 m	x: 4 m	x: 0.25 m	x: 0.25 m	x: 2 m	x: 0.25 m	M_{Ed} = 0.00	N.P.(2)	N.P.(2)	**CUMPLE**
			η = 58.4	η = 10.1	η = 4.9	η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	η = 63.5	η < 0.1	N.P.(1)			**η = 63.5**

Notación:

N_t: Resistencia a tracción

N_c: Resistencia a compresión

M_Y: Resistencia a flexión eje Y

M_Z: Resistencia a flexión eje Z

V_Z: Resistencia a corte Z

V_Y: Resistencia a corte Y

M_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 torsor.

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

6. Comprobaciones de deformaciones

Para la comprobación de las deformaciones admisibles se ha considerado el Documento Básico de Seguridad Estructural del CTE y el artículo 37 de la EAE, en relación a los requisitos para no superar los desplazamientos verticales o flechas.

Referencias:

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.

L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.

6.1. Pilar pórtico estructura principal

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N619/N161	5.000	2.39	7.500	21.84	5.000	4.47	7.500	36.28
	5.000	L/(>1000)	7.500	L/362.1	4.375	L/(>1000)	8.125	L/373.8

6.2. Pilar pórtico hastial estructura principal

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N602/N318	7.875	11.81	7.000	49.72	7.875	23.57	7.000	86.70
	7.875	L/(>1000)	7.000	L/281.6	7.875	L/(>1000)	7.000	L/282.8

6.3. Cordón superior pórticos estructura principal

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N106/N107	0.808	0.03	1.212	0.20	0.808	0.05	1.212	0.23
	0.808	L/(>1000)	1.212	L/(>1000)	0.808	L/(>1000)	1.212	L/(>1000)

6.4. Cordón inferior pórticos estructura principal

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N168/N169	2.000	0.11	2.000	0.83	2.000	0.21	2.000	0.89
	2.000	L/(>1000)	2.000	L/(>1000)	2.000	L/(>1000)	2.000	L/(>1000)

6.5. Diagonales de la celosía de la estructura principal

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N280/N268	1.102	0.86	1.323	0.15	1.102	1.17	1.323	0.20
	1.102	L/(>1000)	1.323	L/(>1000)	1.102	L/(>1000)	1.323	L/(>1000)

6.6. Correas de cubierta de la estructura principal

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N311/N260	3.984	10.22	3.750	23.34	3.750	15.35	3.750	29.06
	3.984	L/733.7	3.750	L/321.4	3.516	L/741.6	3.750	L/326.9

6.7. Pilar pórtico estructura auxiliar

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N484/N485	2.250	3.60	2.000	3.97	2.000	6.56	2.000	7.81
	2.250	L/(>1000)	2.000	L/(>1000)	2.000	L/(>1000)	2.000	L/(>1000)

6.8. Cordón superior estructura auxiliar

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N486/N484	0.953	0.35	0.953	1.03	1.144	0.63	0.953	1.84
	0.953	L/(>1000)	0.953	L/(>1000)	0.953	L/(>1000)	0.763	L/(>1000)

6.9. Cordón inferior estructura auxiliar

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N466/N473	1.286	0.47	1.500	0.73	1.071	0.38	1.500	1.09
	1.286	L/(>1000)	1.500	L/(>1000)	1.071	L/(>1000)	1.500	L/(>1000)

6.10. Diagonales de la celosía de la estructura auxiliar

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N470/N469	1.134	1.45	1.134	0.12	1.134	1.19	0.945	0.23
	1.134	L/(>1000)	1.134	L/(>1000)	1.134	L/(>1000)	1.134	L/(>1000)

6.11. Correas de la estructura auxiliar

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N484/N485	2.250	3.60	2.000	3.97	2.000	6.56	2.000	7.81
	2.250	L/(>1000)	2.000	L/(>1000)	2.000	L/(>1000)	2.000	L/(>1000)

7. Uniones

La mayoría de los perfiles que forman la estructura se han dimensionado con ayuda del programa de cálculo Cype 2015 una vez calculada la estructura y se ajustan al capítulo 14 de la norma EAE 2011. Sin embargo, hay uniones como la de los perfiles tubulares que forman la celosía, o la unión de las cruces de San Andrés que el programa no las contempla. Por este motivo estas uniones se calcularán manualmente.

7.1. Especificaciones para uniones soldadas

El acero empleado en los perfiles, material base de la unión soldada, es S275 como se ha mencionado anteriormente. El material de aportación, como alambres, hilos y electrodos deberá ser apropiado para el proceso de soldeo, teniendo en cuenta el material a soldar y el procedimiento de soldeo; además deberá tener unas características mecánicas, en términos de límite elástico, resistencia a tracción, deformación bajo carga máxima y resiliencia, no inferiores a las correspondientes del material de base que constituye los perfiles o chapas que se pretende soldar.

En cuando a las disposiciones constructivas se especifica lo siguiente:

- Los espesores de las piezas a unir son al menos de 4 mm.
- En cordones de soldadura en ángulo, el espesor de garganta no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4.5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5.6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor. Además, este espesor no puede ser superior a 0.7 veces el espesor de la pieza más delgada de unir.
- Los cordones de las soldaduras en ángulo cuyas longitudes sean menores de 30 mm o 6 veces el espesor de garganta, no se tendrán en cuenta para calcular la resistencia de la unión.
- Para cumplir la longitud del cordón de soldadura puede ser necesario prolongarlo rodeando las esquinas, con el mismo espesor de garganta y una longitud de 3 veces dicho espesor. Esta longitud debe ser mayor o igual que 6 veces el espesor de garganta.

Para el diseño de las uniones soldadas se han tenido en cuenta los esfuerzos mínimos establecidos en el artículo 56.1 de la EAE 2011, realizándose las siguientes comprobaciones:

Cordones de soldadura a tope con penetración total

En este caso, no es necesaria ninguna comprobación, siendo la resistencia de la unión igual a la de más débil de las piezas unidas.

Cordones de soldadura a tope con penetración parcial y con penetración de bordes

Según la EAE, estas soldaduras se comprueban considerando un espesor de garganta igual al canto nominal de la preparación menos 2 mm.

Cordones de soldadura en ángulo

Se realiza la comprobación de tensiones en cada cordón de soldadura según el artículo 59.8 de la EAE.

Las tensiones que se comprueban son las siguientes:

- Tensión de Von Mises

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^{2} + 3 \cdot \left(\tau_{\perp}^{2} + \tau_{//}^{2}\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

- Tensión normal

$$\sigma_{\perp} \leq K \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

donde K = 0.9

Los valores que se muestran en las tablas de comprobación que se adjuntan para cada unión más adelante, se obtienen tras las combinaciones de esfuerzos que hacen máximo el aprovechamiento tensional para ambas comprobaciones, por lo que pueden aparecer dos valores distintos de la tensión normal si cada aprovechamiento máximo resulta en combinaciones distintas.

7.2. Especificaciones para uniones atornilladas

El acero empleado en los perfiles es el mismo que se ha indicado en el punto anterior, al igual que el de los elementos necesarios para realizar la unión.

En cuanto a las disposiciones constructivas se establece lo siguiente:

- Se han considerado las siguientes distancias mínimas y máximas entre ejes de agujeros y entre estos y los bordes de las piezas:

Disposiciones constructivas para tornillos, según artículo 58.4 EAE							
Distancias	Al borde de la pieza		Entre agujeros		Entre tornillos		
						Tracción	
	e1[1]	e2[2]	p1[1]	p2[2]	Compresión	Filas exteriores	Filas interiores
Mínimas	1.5 do	1.5 do	2.2 do	2.4 do	p1 y p2	p1, e	p1, i
Máximas[3]	40 mm + 4t 125 mm 8t		14t 200 mm		14t 200 mm	14t 200 mm	28t 400 mm

Notas:
[1] Paralela a la dirección de la fuerza
[2] Perpendicular a la dirección de la fuerza
[3] Se considera el menor de los valores
do: Diámetro del agujero.
t: Menor espesor de las piezas que se unen.
En el caso de esfuerzos oblicuos, se interpolan los valores de manera que el resultado quede del lado de la seguridad.

- No se deben soldar ni los tornillos ni las tuercas.
- Cuando los tornillos se dispongan en vertical, la tuerca se situará por debajo de la cabeza del tornillo.
- Los agujeros deben realizarse por taladrado u otro proceso que proporcione un acabado equivalente.

- El punzonado se admite para piezas de hasta 15 mm de espesor, siempre que el espesor nominal de la pieza no sea mayor que el diámetro nominal del agujero. De realizar el punzonado, se recomienda realizarlo con un diámetro de 2 mm menor que el diámetro definitivo y luego taladrar hasta el diámetro nominal.

Para el diseño de las uniones atornilladas se han tenido en cuenta los esfuerzos mínimos establecidos en el artículo 56.1 de la EAE 2011, realizándose las comprobaciones indicadas en los artículos 58.5, 58.6, 58.7 y 58.8 de la EAE 2011.

7.3. Comprobaciones en placas de anclaje

En cada placa de anclaje se realizarán las siguientes comprobaciones asumiendo la hipótesis de placa rígida:

Hormigón sobre el que se 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 descomponen los esfuerzos actuantes sobre la placa en axiles y cortantes en los pernos y se comprueba que ambos esfuerzos producen tensiones menores a la tensión límite del material de los pernos.
- Anclaje de los pernos: S 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 en cada perno no se supera el cortante que producirá el aplastamiento de la placa contra el perno.

Placa de anclaje

- Tensiones globales: En 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 limite según la norma.

- Flechas globales relativas: Se comprueba que en los vuelos de las placas no aparezcan flechas 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.

7.4. Dimensionamiento de las uniones

A continuación, se procede al dimensionamiento de las uniones más representativas, tanto soldadas como atornillas e híbridas que se pueden observar en la estructura. Para ello, se han dimensionado aquellas uniones en las que intervienen los perfiles con los esfuerzos más desfavorables quedando siempre del lado de la seguridad.

Junto con el dimensionamiento se muestra una imagen en tres dimensiones para una mejor comprensión de la unión. En el Documento Nº2 – Planos del presente Proyecto Básico se pueden encontrar los planos de estas uniones con un mayor nivel de detalle.

En las páginas siguientes se observa el dimensionamiento las uniones más representativas

7.4.1. Unión cordón superior – pilar inferior estructura auxiliar

1) Pilar HE 160 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 69\varepsilon \qquad \mathbf{16.75 \leq 63.78} \checkmark$$

Donde:

d_{wc}: Canto del alma — **d_{wc}** : *134* mm

t_{wc}: Espesor del alma. — **t_{wc}** : *8.0* mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$ — **ε** : *0.92*

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd} \qquad \mathbf{30.74\ kN \leq 175.68\ kN} \checkmark$$

Donde:

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo. — **$V_{wp,Ed}$** : *30.74* kN

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma — **$V_{wp,Rd}$** : *175.68* kN

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

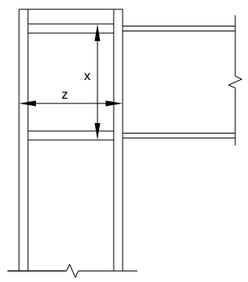
Donde:

A_{vc}: Área sometida a cortante

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γ_{M0}** : *1.05*

Dirección	A_{vc} (mm²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	1280	29.46	174.19	16.91
x	1291	30.74	175.68	17.50



Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **34.56 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-34.56* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-10.23* kN

L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *37* mm

τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.15* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.07* kN

L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *62* mm

t: Espesor — **t** : *8.0* mm

fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²

γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **96.59 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *96.59* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *28.59* kN

L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *37* mm

τ: Tensión tangencial — **τ** : *-0.07* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *-0.03* kN

L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *62* mm

t: Espesor — **t** : *8.0* mm

fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²

γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **33.18 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-33.18* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-9.82* kN

L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *37* mm

τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.15* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.07* kN

L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *62* mm

t: Espesor — **t** : *8.0* mm

fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²

γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **95.71 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *95.71* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *28.33* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *37* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *-0.07* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *-0.03* kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *62* mm
t: Espesor — **t** : *8.0* mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

30.82 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *30.82* N/mm²
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.05* N/mm²
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)
Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)
Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)
Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)
No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp \le 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

σ⊥: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.
τ⊥: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.
τ||: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.
fu: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.
βw: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.
γM2: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. — **γM2** : *1.25*

Comprobaciones geométricas

Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	4	62	8.0	84.29
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	109	8.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	4	62	8.0	84.29
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	109	8.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	4	62	8.0	84.29
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	109	8.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	4	62	8.0	84.29
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	109	8.0	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia

Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		fu (N/mm²)	βw
	σ⊥ (N/mm²)	τ⊥ (N/mm²)	τ|| (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	σ⊥ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	23.2	25.6	0.1	50.1	12.37	23.2	7.49	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	11.8	20.5	5.06	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	64.8	71.6	0.1	140.0	34.58	64.8	20.93	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	33.1	57.3	14.15	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	22.3	24.6	0.1	48.1	11.88	22.3	7.19	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	11.3	19.7	4.86	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	64.2	71.0	0.1	138.7	34.27	64.2	20.74	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	32.7	56.7	14.01	0.0	0.00	430.0	0.85

2) Viga IPE 160

Cordones de soldadura

Resistencia (EAE 59.8.2)
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp \le 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

$\sigma_\perp$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_\perp$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

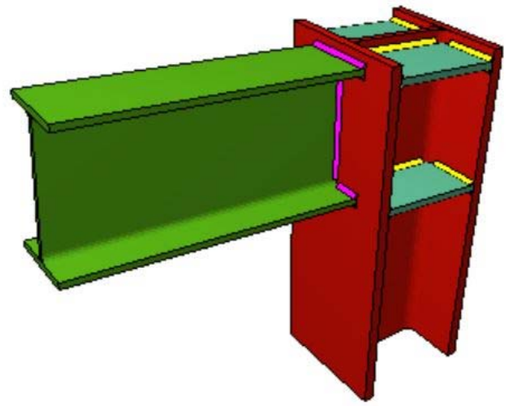
β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. γ_{M2} : *1.25*

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	4	82	7.4	84.29
Soldadura del alma	En ángulo	3	131	5.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	4	82	7.4	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	107.5	97.3	0.0	199.8	49.37	107.5	34.71	430.0	0.85
Soldadura del alma	95.9	95.9	8.4	192.4	47.55	95.9	30.99	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	97.3	107.5	0.0	210.0	51.89	100.6	32.49	430.0	0.85



7.4.2. Unión cordón inferior – pilar inferior estructura auxiliar

1) Chapa de transición

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

2) Pilar superior HE 160 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)
Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)
Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)
Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)
No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_{||}^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp \le 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

$\sigma_\perp$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_\perp$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. γ_{M2} : *1.25*

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	13.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	4	108	8.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	13.0	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	118.1	118.1	0.0	236.2	58.37	118.1	38.15	430.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	89.9	155.7	38.47	76.8	24.82	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	118.1	118.1	0.0	236.2	58.37	118.1	38.15	430.0	0.85

3) Pilar inferior HE 160 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \le 69\varepsilon$$ **16.75 ≤ 63.78** ✓

Donde:

d_{wc}: Canto del alma — d_{wc} : *134* mm

t_{wc}: Espesor del alma. — t_{wc} : *8.0* mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$ ε : *0.92*

f_y: Límite elástico del acero. — f_y : *275.00* N/mm²

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$V_{wp,Ed} \le V_{wp,Rd}$$ **43.33 kN ≤ 195.97 kN** ✓

Donde:

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo. — $V_{wp,Ed}$: *43.33* kN

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma — $V_{wp,Rd}$: *195.97* kN

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

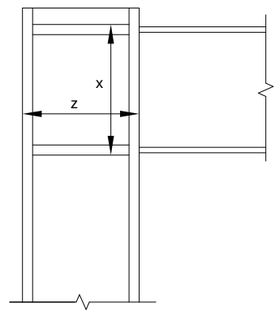
Donde:

A_{vc}: Área sometida a cortante

f_y: Límite elástico del acero. — f_y : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — γ_{M0} : *1.05*

Dirección	A_{vc} (mm²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	1280	37.03	174.19	21.26
x	1440	43.33	195.97	22.11



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

39.65 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-39.65* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-13.16* kN

L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *42* mm

τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.00* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.00* kN

L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *62* mm

t: Espesor — **t** : *8.0* mm

fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²

γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

39.77 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-39.77* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-13.21* kN

L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *42* mm

τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.00* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.00* kN

L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *62* mm

t: Espesor — **t** : *8.0* mm

fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²

γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

64.22 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-64.22* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-21.32* kN

L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *42* mm

τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.17* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.08* kN

L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *62* mm

t: Espesor — **t** : *8.0* mm

fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²

γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

63.08 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-63.07* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-20.94* kN

L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *42* mm

τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.17* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.08* kN

L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *62* mm

t: Espesor — **t** : *8.0* mm

fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²

γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **62.11 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — σ : 62.11 N/mm²

τ: Tensión tangencial — τ : 0.09 N/mm²

f_y: Límite elástico del acero. — f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — γ_{M0} : 1.05

Cordones de soldadura

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_{||}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

$\sigma_\perp$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_\perp$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. — γ_{M2} : 1.25

Comprobaciones geométricas

Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	13.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	4	108	8.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	13.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	4	62	8.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	108	8.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	4	62	8.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	108	8.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	4	62	8.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	108	8.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	4	62	8.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	108	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	118.1	118.1	0.0	236.2	58.37	118.1	38.15	430.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	89.9	155.7	38.47	76.8	24.82	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	118.1	118.1	0.0	236.2	58.37	118.1	38.15	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	28.0	28.0	0.0	56.1	13.86	28.0	9.06	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	15.2	26.4	6.52	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	45.4	45.4	0.2	90.8	22.44	45.4	14.67	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	24.7	42.8	10.56	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	28.1	28.1	0.0	56.3	13.90	28.1	9.08	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	15.3	26.5	6.54	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	44.6	44.6	0.2	89.2	22.04	44.6	14.41	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	24.2	42.0	10.37	0.0	0.00	430.0	0.85

4) Viga IPE 180

Cordones de soldadura

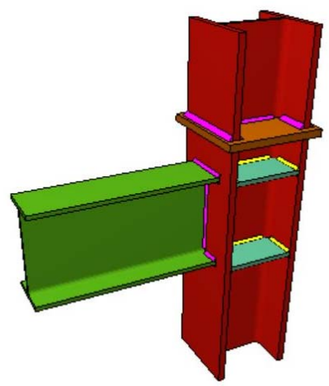
Comprobaciones geométricas

Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	4	91	8.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	3	148	5.3	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	4	91	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	109.8	109.8	0.0	219.6	54.26	109.8	35.47	430.0	0.85
Soldadura del alma	101.8	101.8	8.8	204.2	50.46	101.8	32.89	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	109.8	109.8	0.0	219.6	54.26	109.8	35.47	430.0	0.85



7.4.3. Unión cordón superior – pilar lado mayor estructura auxiliar

1) Chapa de transición

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

2) Pilar superior HE 280 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)
Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)
Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)
Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)
No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp \le 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

$\sigma_\perp$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_\perp$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. γ_{M2} : *1.25*

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	208	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	120.0	120.0	3.0	240.1	59.32	120.0	38.76	430.0	0.85
Soldadura del alma	77.6	77.6	0.0	155.2	38.35	77.6	25.06	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	123.8	123.8	2.5	247.6	61.18	123.8	39.98	430.0	0.85

3) Pilar inferior HE 280 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \le 69\varepsilon$$ **23.24 ≤ 63.78** ✓

Donde:

d_{wc}: Canto del alma — d_{wc} : *244* mm

t_{wc}: Espesor del alma. — t_{wc} : *10.5* mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$ ε : *0.92*

f_y: Límite elástico del acero. **f_y** : *275.00* N/mm²

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$ **0.11 kN ≤ 400.10 kN** ✓

Donde:

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo. **$V_{wp,Ed}$** : *0.11* kN

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma **$V_{wp,Rd}$** : *400.10* kN

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

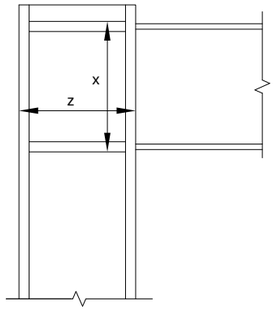
Donde:

A_{vc}: Área sometida a cortante

f_y: Límite elástico del acero. **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. **γ_{M0}** : *1.05*

Dirección	A_{vc} (mm²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2940	0.11	400.10	0.03
x	1726	0.07	234.86	0.03



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ **112.53 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal **σ** : *112.53* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

$F_\perp$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección **$F_\perp$** : *101.51* kN

$L_\perp$: Anchura efectiva para esfuerzos normales **$L_\perp$** : *82* mm

τ: Tensión tangencial **τ** : *0.03* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

$F_{||}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección **$F_{||}$** : *0.03* kN

$L_{||}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales **$L_{||}$** : *82* mm

t: Espesor **t** : *11.0* mm

f_y: Límite elástico del acero. **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. **γ_{M0}** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ **108.13 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal **σ** : *-108.13* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

$F_\perp$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección **$F_\perp$** : *-97.53* kN

$L_\perp$: Anchura efectiva para esfuerzos normales **$L_\perp$** : *82* mm

τ: Tensión tangencial **τ** : *-0.36* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

$F_{||}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección **$F_{||}$** : *-0.32* kN

$L_{||}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales **$L_{||}$** : *82* mm

t: Espesor **t** : *11.0* mm

f_y: Límite elástico del acero. **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. **γ_{M0}** : *1.05*

– Chapa frontal [Viga IPE 160]

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

– Chapa vertical [Viga IPE 160]

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$ **10.85 kN ≤ 84.95 kN** ✓

Donde:

V_{Ed}: Esfuerzo cortante de cálculo. **V_{Ed}** : *10.85* kN

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante $V_{pl,Rd}$. **$V_{c,Rd}$** : *84.95* kN

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(f_y/\sqrt{3}\right)}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A_v: Área sometida a cortante **A_v** : *562* mm²

f_y: Límite elástico del acero. **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. **γ_{M0}** : *1.05*

– Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **163.76 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal **σ** : *163.21* N/mm²

τ: Tensión tangencial **τ** : *7.69* N/mm²

f_y: Límite elástico del acero. **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. **γ_{M0}** : *1.05*

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **50.69 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal **σ** : *37.92* N/mm²

τ: Tensión tangencial **τ** : *19.42* N/mm²

f_y: Límite elástico del acero. **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. **γ_{M0}** : *1.05*

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	208	10.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	117	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	4	105	8.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	117	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	4	105	8.0	90.00
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	3	112	5.0	90.00
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	3	112	5.0	90.00
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	3	205	5.0	90.00
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	3	205	5.0	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	120.0	120.0	3.0	240.1	59.32	120.0	38.76	430.0	0.85
Soldadura del alma	77.6	77.6	0.0	155.2	38.35	77.6	25.06	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	123.8	123.8	2.5	247.6	61.18	123.8	39.98	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.0	0.0	52.3	90.5	22.37	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	0.1	0.1	0.03	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	109.4	109.4	0.0	218.8	54.07	109.4	35.34	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	50.9	88.1	21.77	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	0.2	0.3	0.07	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	105.1	105.1	0.5	210.3	51.96	105.1	33.96	430.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	16.1	27.9	6.89	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	16.1	27.9	6.89	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	15.1	26.1	6.44	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	15.1	26.1	6.44	0.0	0.00	430.0	0.85

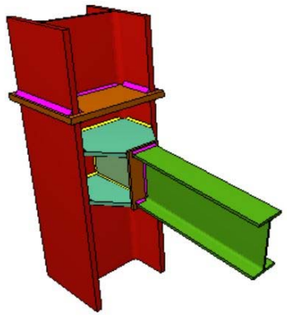
4) Viga IPE 160

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	4	82	7.4	84.29
Soldadura del alma	En ángulo	3	131	5.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	4	82	7.4	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	153.1	169.2	0.0	330.6	81.69	169.2	54.64	430.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	54.4	94.2	23.28	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	153.1	169.2	0.0	330.6	81.69	169.2	54.64	430.0	0.85



7.4.4. Unión cordón inferior – pilar lado mayor estructura auxiliar

1) Chapa de transición

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

2) Pilar superior HE 280 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)
Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)
Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)
Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)
No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp \le 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

$\sigma_\perp$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_\perp$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_\parallel$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. γ_{M2} : *1.25*

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	208	10.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	90.00

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
a: Espesor garganta *l: Longitud efectiva* *t: Espesor de piezas*					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
Soldadura del alma	77.6	77.6	0.0	155.2	38.35	77.6	25.06	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85

3) Pilar inferior HE 280 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 69\varepsilon$$ **23.24 ≤ 63.78** ✓

Donde:

d_{wc}: Canto del alma — **d_{wc}** : *244* mm

t_{wc}: Espesor del alma. — **t_{wc}** : *10.5* mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$ **ε** : *0.92*

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$ **52.08 kN ≤ 261.50 kN** ✓

Donde:

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo. — **$V_{wp,Ed}$** : *52.08* kN

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma — **$V_{wp,Rd}$** : *261.50* kN

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

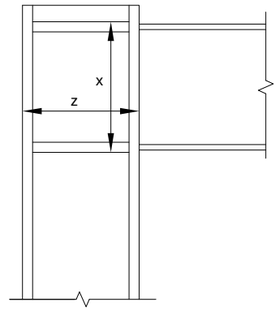
Donde:

A_{vc}: Área sometida a cortante

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γ_{M0}** : *1.05*

Dirección	A_{vc} (mm²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2940	79.33	400.10	19.83
x	1922	52.08	261.50	19.92



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **54.38 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-54.38* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

$F_\perp$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **$F_\perp$** : *-24.08* kN

$L_\perp$: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **$L_\perp$** : *40* mm

τ: Tensión tangencial — **τ** : *-0.01* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

$F_{||}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **$F_{||}$** : *-0.01* kN

$L_{||}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **$L_{||}$** : *112* mm

t: Espesor — **t** : *11.0* mm

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γ_{M0}** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **78.61 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *78.61* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *34.80* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *40* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *-0.01* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *-0.01* kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm
t: Espesor — **t** : *11.0* mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

54.50 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-54.50* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-24.13* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *40* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *-0.01* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *-0.01* kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm
t: Espesor — **t** : *11.0* mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

78.49 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *78.49* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *34.75* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *40* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *-0.01* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *-0.01* kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm
t: Espesor — **t** : *11.0* mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

93.52 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *93.52* N/mm²
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.03* N/mm²
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

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	208	10.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	208	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
Soldadura del alma	77.6	77.6	0.0	155.2	38.35	77.6	25.06	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	42.3	42.3	0.0	84.6	20.90	42.3	13.66	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	11.6	20.1	4.95	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	61.1	61.1	0.0	122.3	30.22	61.1	19.75	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	16.7	29.0	7.16	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	42.4	42.4	0.0	84.8	20.95	42.4	13.69	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	11.6	20.1	4.96	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	61.1	61.1	0.0	122.1	30.17	61.1	19.72	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	16.7	28.9	7.15	0.0	0.00	430.0	0.85

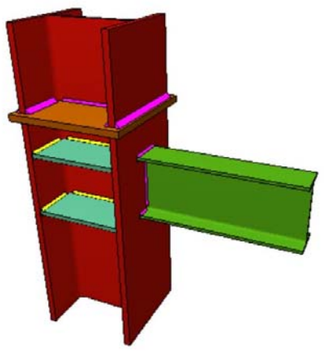
4) Viga IPE 180

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	4	91	8.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	3	148	5.3	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	4	91	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	109.8	109.8	0.0	219.6	54.26	109.8	35.47	430.0	0.85
Soldadura del alma	101.8	101.8	8.8	204.2	50.46	101.8	32.89	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	109.8	109.8	0.0	219.6	54.26	109.8	35.47	430.0	0.85



7.4.5.Unión cordón superior – pilar lado mayor estructura auxiliar

1) Pilar HE 280 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 69\varepsilon \qquad \mathbf{23.24 \leq 63.78} \checkmark$$

Donde:

d_{wc}: Canto del alma — **d_{wc}** : *244* mm

t_{wc}: Espesor del alma. — **t_{wc}** : *10.5* mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$ — **ε** : *0.92*

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd} \qquad \mathbf{50.92\ kN \leq 400.10\ kN} \checkmark$$

Donde:

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo. — **$V_{wp,Ed}$** : *50.92* kN

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma — **$V_{wp,Rd}$** : *400.10* kN

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

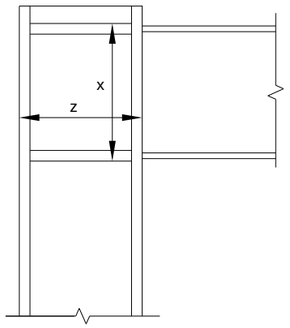
Donde:

A_{vc}: Área sometida a cortante

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γ_{M0}** : *1.05*

Dirección	A_{vc} (mm²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2940	50.92	400.10	12.73
x	1726	29.80	234.86	12.69



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **75.20 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — σ : 75.20 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — F⊥ : 29.57 kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — L⊥ : 36 mm
τ: Tensión tangencial — τ : 0.10 N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — F|| : 0.12 kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — L|| : 112 mm
t: Espesor — t : 11.0 mm
fy: Límite elástico del acero. — fy : 275.00 N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — γM0 : 1.05

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **95.98 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — σ : -95.97 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — F⊥ : -37.74 kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — L⊥ : 36 mm
τ: Tensión tangencial — τ : 0.67 N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — F|| : 0.82 kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — L|| : 112 mm
t: Espesor — t : 11.0 mm
fy: Límite elástico del acero. — fy : 275.00 N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — γM0 : 1.05

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **91.40 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — σ : 91.40 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — F⊥ : 35.94 kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — L⊥ : 36 mm
τ: Tensión tangencial — τ : -0.23 N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — F|| : -0.28 kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — L|| : 112 mm
t: Espesor — t : 11.0 mm
fy: Límite elástico del acero. — fy : 275.00 N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — γM0 : 1.05

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **90.99 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — σ : -90.99 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-35.78* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *36* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.02* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.03* kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm
t: Espesor — **t** : *11.0* mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

7.27 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *6.35* N/mm²
τ: Tensión tangencial — **τ** : *2.04* N/mm²
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)
Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)
Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)
Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)
No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp \le 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

σ⊥: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.
τ⊥: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.
τ||: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.
fu: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.
βw: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.
γM2: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. — **γM2** : *1.25*

Comprobaciones geométricas

Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	83.45
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	210	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	83.45
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	210	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	83.45
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	210	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	83.45
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	210	10.5	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia

Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		fu (N/mm²)	βw
	σ⊥ (N/mm²)	τ⊥ (N/mm²)	τ|| (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	σ⊥ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	55.1	61.7	0.1	120.3	29.72	55.1	17.78	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	6.9	12.0	2.96	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	70.3	78.8	0.7	153.5	37.93	70.3	22.70	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	7.9	13.7	3.37	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	66.9	75.0	0.3	146.2	36.12	66.9	21.61	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	6.9	11.9	2.95	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	66.6	74.7	0.0	145.5	35.96	66.6	21.52	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	7.9	13.7	3.37	0.0	0.00	430.0	0.85

2) Viga (a) IPE 160

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)
Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)
Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)
Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)
No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp \le 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

$\sigma_\perp$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_\perp$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. γ_{M2} : *1.25*

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	4	82	7.4	84.29
Soldadura del alma	En ángulo	3	131	5.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	4	82	7.4	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	142.5	157.5	0.3	307.7	76.03	142.5	46.03	430.0	0.85
Soldadura del alma	103.5	103.5	11.6	207.9	51.37	103.5	33.42	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	162.3	146.9	1.6	301.9	74.58	162.3	52.44	430.0	0.85

3) Viga (b) IPE 160

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)
Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)
Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)
Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)
No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp \le 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

$\sigma_\perp$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_\perp$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

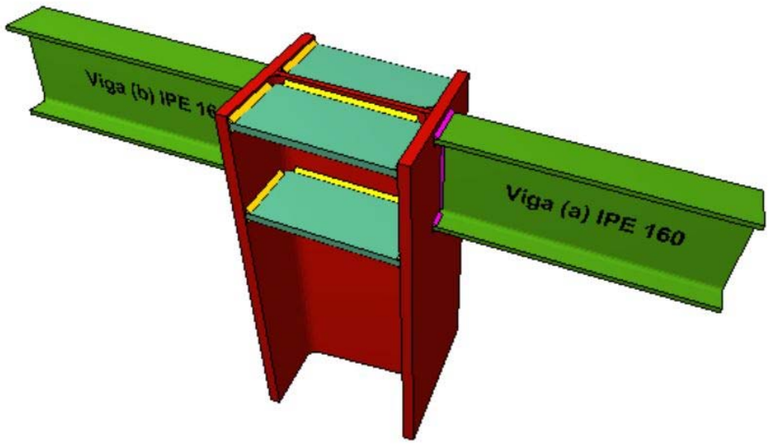
β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. γ_{M2} : *1.25*

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	4	82	7.4	84.29
Soldadura del alma	En ángulo	3	131	5.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	4	82	7.4	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	152.4	137.9	1.3	283.4	70.02	152.4	49.23	430.0	0.85
Soldadura del alma	105.0	105.0	17.1	212.1	52.40	105.0	33.91	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	142.4	157.3	0.1	307.4	75.96	142.4	45.99	430.0	0.85



7.4.6. Unión cordón superior – pilar hastial estructura auxiliar

1) Chapa de transición

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

2) Pilar superior HE 280 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)
Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)
Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)
Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)
No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \le \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_\perp \le 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

$\sigma_\perp$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_\perp$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. γ_{M2} : *1.25*

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	208	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
Soldadura del alma	77.6	77.6	0.0	155.2	38.35	77.6	25.06	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85

3) Pilar inferior HE 280 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \le 69\varepsilon$$ **23.24 ≤ 63.78** ✓

Donde:

d_{wc}: Canto del alma — d_{wc} : *244* mm

t_{wc}: Espesor del alma. — t_{wc} : *10.5* mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$ ε : *0.92*

f_y: Límite elástico del acero. — f_y : *275.00* N/mm²

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$V_{wp,Ed} \le V_{wp,Rd}$$ **40.42 kN ≤ 400.10 kN** ✓

Donde:

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo. — $V_{wp,Ed}$: *40.42* kN

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma — $V_{wp,Rd}$: *400.10* kN

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

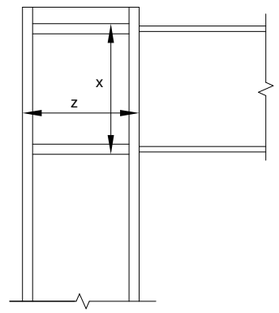
Donde:

A_{vc}: Área sometida a cortante

f_y: Límite elástico del acero. — f_y : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — γ_{M0} : *1.05*

Dirección	A_{vc} (mm²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2940	40.42	400.10	10.10
x	1726	23.66	234.86	10.07



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **29.45 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — σ : *-29.45* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

$F_\perp$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — $F_\perp$: *-11.58* kN

$L_\perp$: Anchura efectiva para esfuerzos normales — $L_\perp$: *36* mm

τ: Tensión tangencial — τ : *0.00* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

$F_{||}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — $F_{||}$: *0.00* kN

$L_{||}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — $L_{||}$: *112* mm

t: Espesor — **t** : 11.0 mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : 275.00 N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : 1.05

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

36.40 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : -36.40 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : -14.31 kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : 36 mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : 0.01 N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : 0.01 kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : 112 mm
t: Espesor — **t** : 11.0 mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : 275.00 N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : 1.05

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

29.55 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : -29.55 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : -11.62 kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : 36 mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : 0.00 N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : 0.00 kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : 112 mm
t: Espesor — **t** : 11.0 mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : 275.00 N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : 1.05

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

36.17 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : -36.17 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : -14.22 kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : 36 mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : 0.01 N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : 0.01 kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : 112 mm
t: Espesor — **t** : 11.0 mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : 275.00 N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : 1.05

– Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

72.30 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : 72.30 N/mm²
τ: Tensión tangencial — **τ** : 0.02 N/mm²
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : 275.00 N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : 1.05

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	208	10.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	112	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	208	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
Soldadura del alma	77.6	77.6	0.0	155.2	38.35	77.6	25.06	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
S. del rigidizador superior a las alas	22.9	22.9	0.0	45.8	11.32	22.9	7.40	430.0	0.85
S. del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	5.6	9.7	2.38	0.0	0.00	430.0	0.85
S. del rigidizador inferior a las alas	28.3	28.3	0.0	56.6	13.99	28.3	9.14	430.0	0.85
S. del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	6.9	11.9	2.95	0.0	0.00	430.0	0.85
S. del rigidizador superior a las alas	23.0	23.0	0.0	46.0	11.36	23.0	7.42	430.0	0.85
S. del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	5.6	9.7	2.39	0.0	0.00	430.0	0.85
S. del rigidizador inferior a las alas	28.1	28.1	0.0	56.3	13.90	28.1	9.09	430.0	0.85
S. del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	6.8	11.8	2.93	0.0	0.00	430.0	0.85

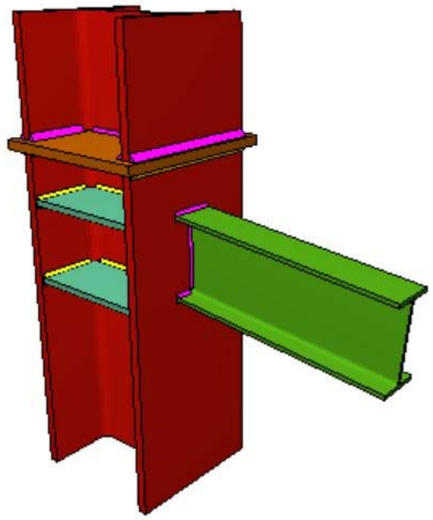
4) Viga IPE 160

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	4	82	7.4	84.29
Soldadura del alma	En ángulo	3	131	5.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	4	82	7.4	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	97.3	107.5	0.0	210.0	51.89	100.6	32.49	430.0	0.85
Soldadura del alma	95.9	95.9	8.4	192.4	47.55	95.9	30.99	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	107.5	97.3	0.0	199.8	49.37	107.5	34.71	430.0	0.85



7.4.7. Unión pilar de la estructura auxiliar – pilar de hormigón

1) Pilar HE 280 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)
Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)
Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)
Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de

hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)
No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

$$\sigma_\perp \leq 0,9\frac{f_u}{\gamma_{M2}} \qquad \sqrt{\sigma_\perp^2 + 3(\tau_\perp^2 + \tau_\parallel^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Donde:

$\sigma_\perp$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_\perp$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. γ_{M2} : *1.25*

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	7	1443	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							430.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:
-Placa base: Ancho X: 550 mm Ancho Y: 550 mm Espesor: 20 mm
-Pernos: 4Ø25 mm L=50 cm Prolongación recta
-Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada
-Rigidizadores: Paralelos X: 2(150x20x7.0) Paralelos Y: 2(150x20x7.0)

Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: *3 diámetros*	Mínimo: 75 mm Calculado: 431 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: *2 diámetros*	Mínimo: 50 mm Calculado: 68 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: *2 diámetros*	Mínimo: 50 mm Calculado: 60 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores:	Máximo: 50	

Referencia:
-Placa base: Ancho X: 550 mm Ancho Y: 550 mm Espesor: 20 mm
-Pernos: 4Ø25 mm L=50 cm Prolongación recta
-Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada
-Rigidizadores: Paralelos X: 2(150x20x7.0) Paralelos Y: 2(150x20x7.0)

Comprobación	Valores	Estado
- Paralelos a X:	Calculado: 49.9	Cumple
- Paralelos a Y:	Calculado: 49.9	Cumple
Longitud mínima del perno: *Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.*	Mínimo: 32 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 120.66 kN Calculado: 101 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 84.46 kN Calculado: 9.16 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 120.66 kN Calculado: 114.08 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 156.15 kN Calculado: 94.25 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 194.831 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: *Límite del cortante en un perno actuando contra la placa*	Máximo: 261.9 kN Calculado: 8.59 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 122.942 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 145.665 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 84.6686 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 80.0011 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: *Limitación de la deformabilidad de los vuelos*	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 8595.42	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 6201.14	Cumple
- Arriba:	Calculado: 12628.4	Cumple
- Abajo:	Calculado: 12715.3	Cumple
Tensión de Von Mises local: *Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo*	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 256.778 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

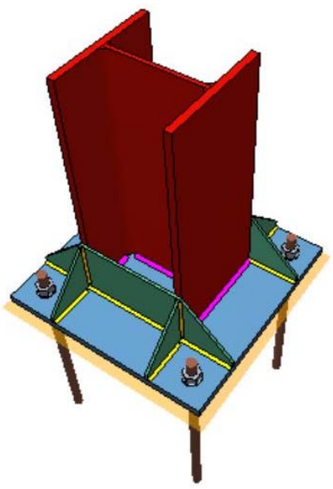
Información adicional:
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.14
- Punto de tensión local máxima: (0.147, -0.275)

gCordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Rigidizador x-x (y = -137): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	128	7.0	90.00
Rigidizador x-x (y = -137): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	4	135	7.0	90.00
Rigidizador x-x (y = -137): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	128	7.0	90.00
Rigidizador x-x (y = -137): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	4	135	7.0	90.00
Rigidizador x-x (y = 137): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	128	7.0	90.00
Rigidizador x-x (y = 137): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	4	135	7.0	90.00
Rigidizador x-x (y = 137): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	128	7.0	90.00
Rigidizador x-x (y = 137): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	4	135	7.0	90.00
Rigidizador y-y (x = -144): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	550	7.0	90.00
Rigidizador y-y (x = 144): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	550	7.0	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Rigidizador x-x (y = -137): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = -137): Soldadura al rigidizador en el extremo	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = -137): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = -137): Soldadura al rigidizador en el extremo	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = 137): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = 137): Soldadura al rigidizador en el extremo	La comprobación no procede.							430.0	0.85



7.4.8. Unión pilar de la estructura principal – cordón superior

1) Pilar HE 280 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 69\varepsilon \qquad \mathbf{23.24 \leq 63.78} \checkmark$$

Donde:

d_{wc}: Canto del alma — **d_{wc}** : *244* mm

t_{wc}: Espesor del alma. — **t_{wc}** : *10.5* mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$ — **ε** : *0.92*

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd} \qquad \mathbf{377.15\ kN \leq 400.10\ kN} \checkmark$$

Donde:

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo. — **$V_{wp,Ed}$** : *377.15* kN

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma — **$V_{wp,Rd}$** : *400.10* kN

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

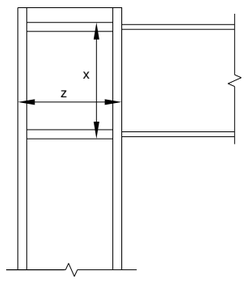
Donde:

A_{vc}: Área sometida a cortante

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γ_{M0}** : *1.05*

Dirección	A_{vc} (mm²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2940	377.15	400.10	94.26
x	2157	274.06	293.48	93.38



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **109.67 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *109.66* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *155.85* kN

L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *95* mm

τ: Tensión tangencial — **τ** : *-0.72* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *-1.20* kN

L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm

t: Espesor — **t** : *15.0* mm

fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²

γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **107.95 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-107.95* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-153.42* kN

L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *95* mm

τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.17* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.29* kN

L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm

t: Espesor — **t** : *15.0* mm

fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²

γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **108.34 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *108.34* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *153.97* kN

L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *95* mm

τ: Tensión tangencial — **τ** : *-0.72* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *-1.20* kN

L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm

t: Espesor — **t** : *15.0* mm

fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²

γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **109.49 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — σ : *109.49* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

$F_\perp$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — $F_\perp$: *155.61* kN

$L_\perp$: Anchura efectiva para esfuerzos normales — $L_\perp$: *95* mm

τ: Tensión tangencial — τ : *-0.37* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

$F_{||}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — $F_{||}$: *-0.61* kN

$L_{||}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — $L_{||}$: *112* mm

t: Espesor — t : *15.0* mm

f_y: Límite elástico del acero. — f_y : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — γ_{M0} : *1.05*

– Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **22.41 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — σ : *22.03* N/mm²

τ: Tensión tangencial — τ : *2.39* N/mm²

f_y: Límite elástico del acero. — f_y : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — γ_{M0} : *1.05*

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **51.18 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — σ : *50.84* N/mm²

τ: Tensión tangencial — τ : *3.42* N/mm²

f_y: Límite elástico del acero. — f_y : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — γ_{M0} : *1.05*

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas

Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	112	15.0	76.34
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	215	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	112	15.0	76.34
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	215	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	112	15.0	76.34
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	215	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	112	15.0	76.34
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	215	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	72.6	92.4	0.8	175.7	43.41	72.6	23.45	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	74.6	129.2	31.92	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	71.5	90.9	0.4	173.0	42.74	71.5	23.09	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	73.4	127.2	31.42	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	71.7	91.3	0.8	173.6	42.89	71.7	23.17	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	73.6	127.6	31.52	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	72.5	92.2	0.4	175.4	43.35	72.5	23.42	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	74.4	129.0	31.86	0.0	0.00	430.0	0.85

2) Viga HE 200 B

Cordones de soldadura

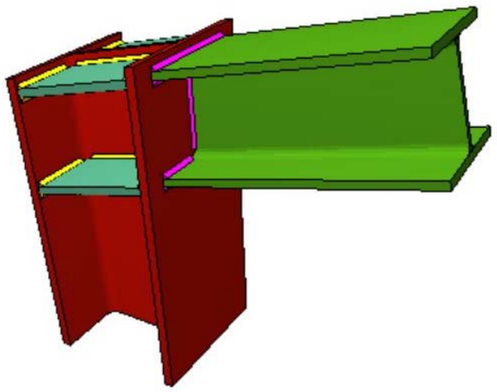
Comprobaciones geométricas

Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	7	200	15.0	76.34
Soldadura del alma	En ángulo	4	144	9.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	7	200	15.0	76.34

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia

Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	125.8	98.9	0.0	212.5	52.50	125.8	40.62	430.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	94.3	163.3	40.34	76.6	24.74	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	98.9	125.8	0.0	239.2	59.11	99.3	32.06	430.0	0.85



7.4.9. Unión pilar de la estructura principal – cordón inferior

1) Chapa de transición

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

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	208	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
Soldadura del alma	107.5	107.5	20.7	217.9	53.84	107.5	34.71	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85

3) Pilar inferior HE 280 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 69\varepsilon$$ **23.24 ≤ 63.78** ✓

Donde:

d_{wc}: Canto del alma — **d_{wc}** : *244* mm

t_{wc}: Espesor del alma. — **t_{wc}** : *10.5* mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$ **ε** : *0.92*

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$ **261.59 kN ≤ 400.10 kN** ✓

Donde:

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo. — **$V_{wp,Ed}$** : *261.59* kN

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma — **$V_{wp,Rd}$** : *400.10* kN

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

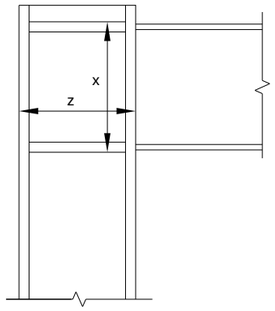
Donde:

A_{vc}: Área sometida a cortante

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γ_{M0}** : *1.05*

Dirección	A_{vc} (mm²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2940	261.59	400.10	65.38
x	1691	146.77	230.06	63.80



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **97.05 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-97.05* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-101.57* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *75* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.01* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.02* kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm
t: Espesor — **t** : *14.0* mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **97.14 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-97.14* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-101.66* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *75* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.01* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.02* kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm
t: Espesor — **t** : *14.0* mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **147.36 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *147.36* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *154.22* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *75* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.01* N/mm²

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **147.28 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *147.28* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *154.12* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *75* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.01* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

$F_{||}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **$F_{||}$** : *0.02* kN
$L_{||}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **$L_{||}$** : *112* mm
t: Espesor — **t** : *14.0* mm
f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²
γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γ_{M0}** : *1.05*

– Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

159.28 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *159.28* N/mm²
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.02* N/mm²
f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²
γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γ_{M0}** : *1.05*

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	208	10.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	112	14.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	112	14.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	112	14.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	112	14.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	208	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
Soldadura del alma	107.5	107.5	20.7	217.9	53.84	107.5	34.71	430.0	0.85

Comprobación de resistencia

Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala inferior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	80.1	80.1	0.0	160.1	39.57	80.1	25.86	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	48.8	84.6	20.90	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	121.6	121.6	0.0	243.1	60.08	121.6	39.27	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	74.1	128.4	31.73	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	80.1	80.1	0.0	160.3	39.60	80.1	25.89	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	48.9	84.7	20.92	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	121.5	121.5	0.0	243.0	60.04	121.5	39.24	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	74.1	128.3	31.71	0.0	0.00	430.0	0.85

4) Viga HE 160 B

Cordones de soldadura

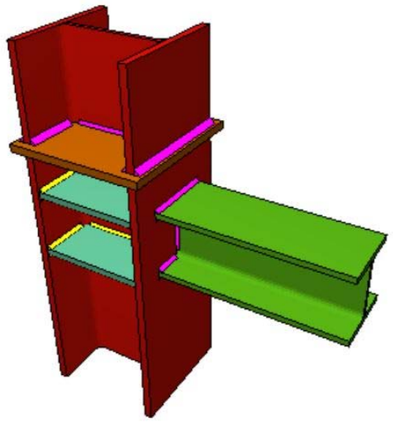
Comprobaciones geométricas

Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	13.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	4	108	8.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	13.0	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	118.3	118.3	1.0	236.6	58.46	118.3	38.21	430.0	0.85
Soldadura del alma	113.7	113.7	64.5	253.4	62.60	117.0	37.80	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	162.8	162.8	1.0	325.7	80.47	162.8	52.60	430.0	0.85



7.4.10. Unión pilar hastial de la estructura principal – cordón superior

1) Chapa de transición

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

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	208	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
Soldadura del alma	107.5	107.5	20.7	217.9	53.84	107.5	34.71	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85

3) Pilar inferior HE 280 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 69\varepsilon \qquad \mathbf{23.24 \leq 63.78}$$

Donde:

d_{wc}: Canto del alma — **d_{wc}** : *244* mm

t_{wc}: Espesor del alma. — **t_{wc}** : *10.5* mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$ — **ε** : *0.92*

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd} \qquad \mathbf{261.59\ kN \leq 400.10\ kN}$$

Donde:

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo. — **$V_{wp,Ed}$** : *261.59* kN

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma — **$V_{wp,Rd}$** : *400.10* kN

$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

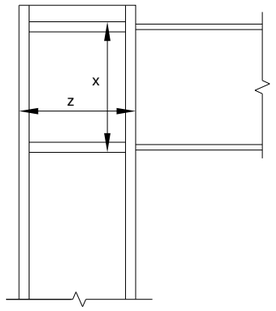
Donde:

A_{vc}: Área sometida a cortante

f_y: Límite elástico del acero. — **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γ_{M0}** : *1.05*

Dirección	A_{vc} (mm²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2940	261.59	400.10	65.38
x	1691	146.77	230.06	63.80



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **97.05 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-97.05* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-101.57* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *75* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.01* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.02* kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm
t: Espesor — **t** : *14.0* mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **147.36 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *147.36* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *154.22* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *75* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.01* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.02* kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm
t: Espesor — **t** : *14.0* mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **97.14 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *-97.14* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *-101.66* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *75* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.01* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.02* kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm
t: Espesor — **t** : *14.0* mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$ **147.28 N/mm² ≤ 261.90 N/mm²** ✓

Donde:

σ: Tensión normal — **σ** : *147.28* N/mm²

$$\sigma = \frac{F_\perp}{L_\perp \cdot t}$$

F⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección — **F⊥** : *154.12* kN
L⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales — **L⊥** : *75* mm
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.01* N/mm²

$$\tau = \frac{F_{||}}{L_{||} \cdot t}$$

F||: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección — **F||** : *0.02* kN
L||: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales — **L||** : *112* mm
t: Espesor — **t** : *14.0* mm
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

– Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

159.28 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:
σ: Tensión normal — **σ** : *159.28* N/mm²
τ: Tensión tangencial — **τ** : *0.02* N/mm²
fy: Límite elástico del acero. — **fy** : *275.00* N/mm²
γM0: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. — **γM0** : *1.05*

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	208	10.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	112	14.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	112	14.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	112	14.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	112	14.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	208	10.5	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		fu (N/mm²)	βw
	σ⊥ (N/mm²)	τ⊥ (N/mm²)	τ|| (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	σ⊥ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
Soldadura del alma	107.5	107.5	20.7	217.9	53.84	107.5	34.71	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	107.8	107.8	0.0	215.6	53.28	107.8	34.82	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	80.1	80.1	0.0	160.1	39.57	80.1	25.86	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	48.8	84.6	20.90	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	121.6	121.6	0.0	243.1	60.08	121.6	39.27	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	74.1	128.4	31.73	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	80.1	80.1	0.0	160.3	39.60	80.1	25.89	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	48.9	84.7	20.92	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	121.5	121.5	0.0	243.0	60.04	121.5	39.24	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	74.1	128.3	31.71	0.0	0.00	430.0	0.85

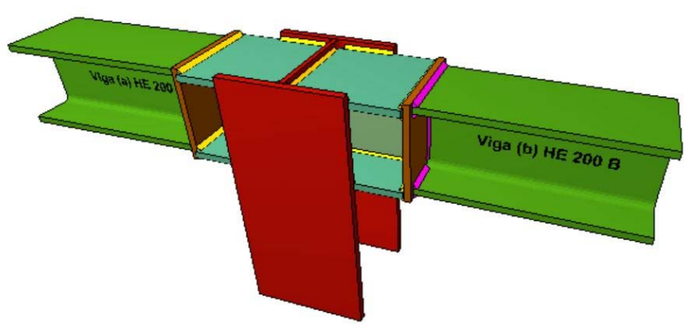
4) Viga HE 160 B

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	13.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	4	108	8.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	13.0	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		fu (N/mm²)	βw
	σ⊥ (N/mm²)	τ⊥ (N/mm²)	τ|| (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	σ⊥ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	118.3	118.3	1.0	236.6	58.46	118.3	38.21	430.0	0.85
Soldadura del alma	113.7	113.7	64.5	253.4	62.60	117.0	37.80	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	162.8	162.8	1.0	325.7	80.47	162.8	52.60	430.0	0.85



7.4.11. Unión pilar de la estructura principal – pilar de hormigón

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	1443	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/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							430.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:
-Placa base: Ancho X: 650 mm Ancho Y: 650 mm Espesor: 40 mm
-Pernos: 8Ø32 mm L=90 cm Prolongación recta
-Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada
-Rigidizadores: Paralelos X: 2(200x0x14.0) Paralelos Y: 2(200x0x14.0)

Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: *3 diámetros*	Mínimo: 96 mm Calculado: 255 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: *2 diámetros*	Mínimo: 64 mm Calculado: 101 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: *2 diámetros*	Mínimo: 64 mm Calculado: 70 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores:	Máximo: 50	
- Paralelos a X:	Calculado: 33.7	Cumple
- Paralelos a Y:	Calculado: 33.7	Cumple
Longitud mínima del perno: *Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.*	Mínimo: 41 cm Calculado: 90 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
- Tracción:	Máximo: 277.99 kN Calculado: 244.21 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 194.59 kN Calculado: 14.8 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 277.99 kN Calculado: 265.34 kN	Cumple

Referencia:
-Placa base: Ancho X: 650 mm Ancho Y: 650 mm Espesor: 40 mm
-Pernos: 8Ø32 mm L=90 cm Prolongación recta
-Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada
-Rigidizadores: Paralelos X: 2(200x0x14.0) Paralelos Y: 2(200x0x14.0)

Comprobación	Valores	Estado
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 255.69 kN Calculado: 226.47 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 283.609 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: *Límite del cortante en un perno actuando contra la placa*	Máximo: 670.48 kN Calculado: 13.81 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 56.6388 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 56.5936 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 215.539 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 180.744 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: *Limitación de la deformabilidad de los vuelos*	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 23224.4	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 23283.7	Cumple
- Arriba:	Calculado: 4365.01	Cumple
- Abajo:	Calculado: 5117.07	Cumple
Tensión de Von Mises local: *Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo*	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 208.917 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

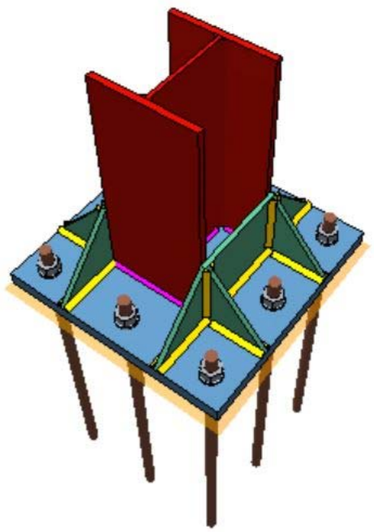
Información adicional:
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.222
- Punto de tensión local máxima: (0.154, -0.325)

Cordones de soldadura

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Rigidizador x-x (y = -133): Soldadura a la placa base	En ángulo	10	171	14.0	90.00
Rigidizador x-x (y = -133): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	10	180	14.0	90.00
Rigidizador x-x (y = -133): Soldadura a la placa base	En ángulo	10	171	14.0	90.00
Rigidizador x-x (y = -133): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	10	180	14.0	90.00
Rigidizador x-x (y = 133): Soldadura a la placa base	En ángulo	10	171	14.0	90.00
Rigidizador x-x (y = 133): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	10	180	14.0	90.00
Rigidizador x-x (y = 133): Soldadura a la placa base	En ángulo	10	171	14.0	90.00
Rigidizador x-x (y = 133): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	10	180	14.0	90.00
Rigidizador y-y (x = -147): Soldadura a la placa base	En ángulo	10	650	14.0	90.00
Rigidizador y-y (x = 147): Soldadura a la placa base	En ángulo	10	650	14.0	90.00

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
a: Espesor garganta *l: Longitud efectiva* *t: Espesor de piezas*					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Rigidizador x-x (y = -133): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = -133): Soldadura al rigidizador en el extremo	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = -133): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = -133): Soldadura al rigidizador en el extremo	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = 133): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = 133): Soldadura al rigidizador en el extremo	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = 133): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador x-x (y = 133): Soldadura al rigidizador en el extremo	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador y-y (x = -147): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 147): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							430.0	0.85



7.4.12. Unión entre perfiles de la celosía

Como se ha descrito anteriormente, las diagonales de la celosía están formadas por 2UPN 100 con el alma en el plano del pórtico. La unión de estos perfiles con el perfil inferior y superior se ha resuelto con un empalme con chapa frontal. Para poder materializarlo se va a realizar una soldadura perimetral en ángulo.

Debido a que el programa de cálculo Cype 3D no tiene en su biblioteca la unión entre diagonales de una celosía con el cordón superior e inferior, se ha realizado el cálculo del espesor de garganta y de la longitud del cordón de soldadura.

La unión está formada por tres soldaduras:

- Soldaduras entre las alas de la viga y las alas de la diagonal (a_1 y a_2).
- Soldadura entre el alma de la viga y las alas de la diagonal (a_3).

$$a_1 \leq 0{,}7 \cdot 12 = 8{,}4 \rightarrow 5 \text{ mm} > 4{,}5 \text{ mm}$$
$$a_2 = a_3 = a_1 = 5 \text{ mm}$$

Se calculan las longitudes de soldadura descontando los radios y se obtienen:

- L_{w1} = 160 mm
- L_{w2} = 160 -2 · 27 =106 mm
- Lw_{w3} = 160 – 2·19-2·27 =208 mm

Las soldaduras 1 y 2 deben ser capaces de transmitir una fuerza igual a la resistencia completa del ala de la viga:

$$F_{w,Rd} = (a_1 \cdot L_{w1} + 2 \cdot a2_2 \cdot L_{w2}) \cdot f_{uw,d} \geq b_f \cdot t_{fb} \cdot f_{yd} = (5 \cdot 160 + 2 \cdot 5 \cdot 106) \cdot 222{,}7 \geq 160 \cdot 13 \cdot 275/1{,}05$$

$$f_{vw,d} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{410 \cdot \frac{10^3}{\sqrt{3}}}{0{,}85 \cdot 1{,}25} = 222{,}7\ MPa$$

414,22 kN ≥ 572 kN → No Cumple

Aumentamos $a_1 = a_2 = a_3$ = 7 mm

$$F_{w,Rd} = (7 \cdot 160 + 2 \cdot 7 \cdot 106) \cdot 222{,}7 \geq 160 \cdot 13 \cdot 275/1{,}05$$

579,91 kN ≥ 572 kN → Cumple

Las tres soldaduras deben ser capaces de transmitir el cortante que solicita a la unión.

$$F_{w,Rd} = 2 \cdot 7 \cdot 208 \cdot 222{,}7 = 648{,}5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < 648{,}5 \text{ kN} \rightarrow \text{Cumple}$$

Por tanto, cumple la unión perimetral.

Esta misma unión se dispone en la estructura auxiliar también ya que los esfuerzos máximos son menores.