ANEJO 11 CÁLCULOS ESTRUCTURALES

INDICE

1. DESCRIPCION ESTACION DE BOMBEO 2
1.1. Cimentación y foso de las instalaciones hidráulicas 2
1.2. Estructura metálica porticada 2
1.3. Cerramiento y acceso 2
2. Recrecido de la arqueta de toma en la balsa del Pla 2
3. Estructura soporte instalación fotovoltaica 3
APÉNDICE 1: CÁLCULO ESTRUCTURA EB3
APÉNDICE 2: CÁLCULO RECRECIDO ARQUETA BALSA DEL PLA
APÉNDICE 3: CÁLCULO ESTRUCTURA SOPORTE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

1. DESCRIPCION ESTACION DE BOMBEO

1.1. Cimentación y foso de las instalaciones hidráulicas

Para acceso al recinto se instala escalones de tramex con plataforma y barandilla de seguridad

La cimentación se resuelve mediante la ejecución de una losa de cimentación de 25 cm de espesor perimetrada por correa de hormigón amado .

Para la conformación del foso de instalaciones de los elementos hidráulicos se ejecutan paredes de hormigón armado de 30 cm de espesor y 2 m de altura

Sobre los muros de hormigón armado se anclan los perfiles de los pilares de la estructura porticada .

1.2. Estructura metálica porticada

La estructura primaria es del tipo pórtico y está compuesta por una serie de marcos transversales arriostrados longitudinalmente, dicha estructura está compuesta por perfileria de acero en pilares y vigas, forman los pórticos y sus arriostramientos.

Esta estructura se ejecuta con diversos perfiles metálicos anclados a los muros perimetrales del foso mediante placas de anclaje fijadas a los muros mediante pernos de Ø 16

Estructura porticada con cubierta a un agua de 9,40 m x 6,40 m, en las caras con paño de 9,40 m se situan tres pilares , en los extremos dos pilares metálicos tipo HE-140 A sobre placa de 250x250x12 y cuatro pernos de anclaje Ø 16, el pilar central está constituido por un perfil tipo HE180A sobre placa de 300x300x15 anclada con 4 pernos de Ø16.

En los paños de 6,40 m se situan en los extremos HE-140 A con pilar intemedio tipo IPE- 160 sobre placa de 250x250x12 anclada con cuatro pernos de Ø16.

Como vigas se utilizan los perfiles, en los paños de 9,40 m son tipo SHS 100X4, en los paños de 6,40 m se utilizan en los externos perfiles tipo IPE-200 y un perfil intermedio tipo IPE- 270.

El perfil intermedio se refuerza en sus extremos mediante la utilización de cartelas de perfil IPE-270

Bajo la viga central se coloca un perfil tipo IPC-240 y como tirante un perfil SHS-40x5. Frente a deformación lateral se ejecutan cruces de SAN ANDRES en los paños de 9,40 m.

La estructura secundaria de acero ligero consiste en rieles laterales para paredes y correas para el techo. La acería secundaria soporta la envolvente del edificio, pero también juega un papel importante en la contención de la acería primaria.

Para la cubierta se utilizan correas con perfileria PLF Z 175x2.5 galvanizada

1.3. Cerramiento y acceso

Para el acceso al recinto se instala puerta metálica enrollable.

El cerramiento del perímetro se instala panel tip. Sándwich al igual que en cubierta bajo la chapa de aluminio ondulado.

2. Recrecido de la arqueta de toma en la balsa del Pla

Se ha previsto la ejecución de una arqueta de dimensiones superiores a la actual, que soporte la aportación de tierras a realizar, y que permita el acceso a las válvulas existentes de maniobra de la tubería de presa de la Balsa del Plan. La arqueta a construir es de hormigón armado, tiene u na altura de 9,20 my un espesor de 40 cm de muro, y se funda sobre un zapato de 40 cm de espesor solidario con los muros. La planta es rectangular de 4,20 metros de largo y 3,25 de a ncho. La cota del pie de la arqueta es la 340,82, donde se situará un drenaje perimetral para controlar las posibles filtraciones de agua, que se complementará con un acabado exterior con impermeabilización con emulsión bituminosa y lámina drenante de polietileno

La arqueta está cubierto superiormente por una tapa metálica de entramado de acero galvanizado, que permite e l acceso al interior en caso de tener que extraer elementos con un camión grúa. Para acceder al interior de la arqueta hay unas escaleras de gato con la protección correspondiente, y dos plataformas horizontales de 80 cm de ancho, con barandilla de seguridad, situadas a 3,00 y 6,00 m de la superficie.

La geometría y la ubicación exacta la arqueta se muestra en el documento planos del presente proyecto. Los criterios de diseño adoptados son los siguientes:

Altura arqueta: 9,20 m

Longitud planta: 4,20 m

Ancha planta: 3,25 m

Grosor muro: 0,40 m

Cota pie arqueta: 340,82

3. Estructura soporte instalación fotovoltaica

La estructura soporte de la instalación fotovoltaica está formada por tubos de largueros de aluminio 6005T6 tipo perfil P36-A y bastidores compuestos por perfiles de acero galvanizado de perfil C de sección 100x50x2 mm e hincas de perfil C de sección 100x50x3 mm.

En el Apéndice 3 se incluye el cálculo estructural de la estructura y el hincado de ésta al terreno.

APÉNDICE 1: CÁLCULO ESTRUCTURA EB3

ÍNDICE

1. DATOS DE OBRA 2
1.1. Normas consideradas 2
1.2. Estados límite 2
1.2.1. Situaciones de proyecto 2

2. ESTRUCTURA 3
2.1. Geometría 3
2.1.1. Nudos 3
2.1.2. Barras 4
2.2. Resultados 7
2.2.1. Nudos 7
2.2.2. Barras 8

1. DATOS DE OBRA

1.1. Normas consideradas

Aceros laminados y armados: Código Estructural
Categoría de uso: G2. Cobertes accessibles únicament per a manteniment

1.2. Estados límite

E.L.U. de rotura. Acero laminado	CTE Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
Desplazamientos	Acciones características

1.2.1. Situaciones de proyecto

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{Gj}G_{kj}+\gamma_P P_k+\gamma_{Q1}\Psi_{p1}Q_{k1}+\sum_{i>1}\gamma_{Qi}\Psi_{ai}Q_{ki}$$

- Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{Gj}G_{kj}+\gamma_P P_k+\sum_{i\geq 1}\gamma_{Qi}Q_{ki}$$

- Donde:

G_k Acción permanente
P_k Acción de pretensado
Q_k Acción variable
γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes
γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado
$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal
$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento
$\psi_{p,1}$ Coeficiente de combinación de la acción variable principal
$\psi_{a,i}$ Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

E.L.U. de rotura. Acero laminado: Código Estructural

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.500	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.500	1.000	0.500

Desplazamientos

Característica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000

2. ESTRUCTURA

2.1. Geometría

2.1.1. Nudos

Referencias:

Δ_x, Δ_y, Δ_z: Desplazamientos prescritos en ejes globales.

θ_x, θ_y, θ_z: Giros prescritos en ejes globales.

Cada grado de libertad se marca con 'X' si está coaccionado y, en caso contrario, con '-'.

Nudos										
Referencia	Coordenadas			Vinculación exterior						Vinculación interior
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ_x	Δ_y	Δ_z	θ_x	θ_y	θ_z	
N1	0.000	0.000	0.000	X	X	X	-	-	-	Empotrado
N2	0.000	0.000	3.500	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N3	0.000	6.400	0.000	X	X	X	-	-	-	Empotrado
N4	0.000	6.400	2.540	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N5	4.700	0.000	0.000	X	X	X	-	-	-	Empotrado
N6	4.700	0.000	3.500	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N7	4.700	6.400	0.000	X	X	X	-	-	-	Empotrado
N8	4.700	6.400	2.540	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N9	9.400	0.000	0.000	X	X	X	-	-	-	Empotrado
N10	9.400	0.000	3.500	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N11	9.400	6.400	0.000	X	X	X	-	-	-	Empotrado

Nudos										
Referencia	Coordenadas			Vinculación exterior						Vinculación interior
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ_x	Δ_y	Δ_z	θ_x	θ_y	θ_z	
N12	9.400	6.400	2.540	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N13	9.400	3.200	0.000	X	X	X	-	-	-	Empotrado
N14	0.000	3.200	0.000	X	X	X	-	-	-	Empotrado
N15	9.400	3.200	3.020	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N16	0.000	3.200	3.020	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N17	4.700	0.000	2.540	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N18	4.700	4.600	2.540	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N19	4.700	0.120	2.540	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N20	4.700	0.000	3.340	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N21	4.700	0.120	3.340	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N22	4.700	2.620	2.540	-	-	-	-	-	-	Empotrado

2.1.2. Barras

2.1.2.1. Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E (kp/cm²)	ν	G (kp/cm²)	f_y (kp/cm²)	α_t (m/m°C)	γ (t/m³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275 (UNE-EN 10025-2)	2140672.8	0.300	825688.1	2803.3	0.000012	7.850

Notación:
E: Módulo de elasticidad
ν: Módulo de Poisson
G: Módulo de cortadura
f_y: Límite elástico
α_t: Coeficiente de dilatación
γ: Peso específico

2.1.2.2. Descripción

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	$Lb_{Sup.}$ (m)	$Lb_{Inf.}$ (m)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (UNE-EN 10025-2)	N1/N2	N1/N2	HE 140 A (HEA)	3.500	1.00	2.19	3.500	3.500
		N3/N4	N3/N4	HE 140 A (HEA)	2.540	1.00	2.26	2.540	2.540
		N4/N16	N4/N2	IPE 200 (IPE)	3.236	0.49	2.53	3.236	3.236
		N16/N2	N4/N2	IPE 200 (IPE)	3.236	0.49	2.70	3.236	3.236
		N5/N17	N5/N6	HE 240 B (HEB)	2.540	1.00	2.00	2.540	2.540
		N17/N20	N5/N6	HE 240 B (HEB)	0.800	1.00	2.00	0.800	0.800
		N20/N6	N5/N6	HE 240 B (HEB)	0.160	1.00	1.00	0.160	0.160
		N7/N8	N7/N8	HE 180 A (HEA)	2.540	1.00	2.00	2.540	2.540
		N8/N6	N8/N6	IPE 270 (IPE)	6.472	0.25	1.16	6.472	6.472
		N9/N10	N9/N10	HE 140 A (HEA)	3.500	1.00	2.19	3.500	3.500

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	$Lb_{Sup.}$ (m)	$Lb_{Inf.}$ (m)
Tipo	Designación								
		N11/N12	N11/N12	HE 140 A (HEA)	2.540	1.00	2.26	2.540	2.540
		N12/N15	N12/N10	IPE 200 (IPE)	3.236	0.49	2.53	3.236	3.236
		N15/N10	N12/N10	IPE 200 (IPE)	3.236	0.49	2.70	3.236	3.236
		N13/N15	N13/N15	IPE 160 (IPE)	3.020	1.00	2.00	3.020	3.020
		N14/N16	N14/N16	IPE 160 (IPE)	3.020	1.00	2.00	3.020	3.020
		N2/N6	N2/N6	SHS 100x4.0 (SHS)	4.700	1.00	1.00	4.700	4.700
		N6/N10	N6/N10	SHS 100x4.0 (SHS)	4.700	1.00	1.00	4.700	4.700
		N4/N8	N4/N8	SHS 100x4.0 (SHS)	4.700	1.00	1.00	4.700	4.700
		N8/N12	N8/N12	SHS 100x4.0 (SHS)	4.700	1.00	1.00	4.700	4.700
		N17/N19	N17/N19	FL 140 x 20 (Platines)	0.120	1.00	1.00	0.120	0.120
		N20/N21	N20/N21	FL 140 x 20 (Platines)	0.120	1.00	1.00	0.120	0.120
		N19/N21	N19/N21	HE 140 A (HEA)	0.800	1.00	1.00	0.800	0.800
		N22/N21	N22/N21	SHS 40x5.0 (SHS)	2.625	1.00	1.00	2.625	2.625
		N19/N22	N19/N22	IPE 240 (IPE)	2.500	1.00	1.00	2.500	2.500
		N22/N18	N22/N18	IPE 240 (IPE)	1.980	1.00	1.00	1.980	1.980
		N11/N8	N11/N8	R 16 (R)	5.342	0.00	0.00	-	-
		N7/N12	N7/N12	R 16 (R)	5.342	0.00	0.00	-	-
		N9/N6	N9/N6	R 16 (R)	5.860	0.00	0.00	-	-
		N5/N10	N5/N10	R 16 (R)	5.860	0.00	0.00	-	-
		N5/N2	N5/N2	R 16 (R)	5.860	0.00	0.00	-	-
		N1/N6	N1/N6	R 16 (R)	5.860	0.00	0.00	-	-
		N7/N4	N7/N4	R 16 (R)	5.342	0.00	0.00	-	-
		N3/N8	N3/N8	R 16 (R)	5.342	0.00	0.00	-	-

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final
β_{xy}: Coeficiente de pandeo en el plano 'XY'
β_{xz}: Coeficiente de pandeo en el plano 'XZ'
$Lb_{Sup.}$: Separación entre arriostramientos del ala superior
$Lb_{Inf.}$: Separación entre arriostramientos del ala inferior

2.1.2.3. Características mecánicas

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N1/N2, N3/N4, N9/N10, N11/N12 y N19/N21
2	N4/N2 y N12/N10
3	N5/N6
4	N7/N8
5	N8/N6
6	N13/N15 y N14/N16

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
7	N2/N6, N6/N10, N4/N8 y N8/N12
8	N17/N19 y N20/N21
9	N22/N21
10	N19/N22 y N22/N18
11	N11/N8, N7/N12, N9/N6, N5/N10, N5/N2, N1/N6, N7/N4 y N3/N8

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm²)	Avy (cm²)	Avz (cm²)	Iyy (cm4)	Izz (cm4)	It (cm4)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275 (UNE-EN 10025-2)	1	HE 140 A, (HEA)	31.40	17.85	5.74	1033.00	389.30	8.10
		2	IPE 200, (IPE)	28.50	12.75	9.22	1943.00	142.00	6.92
		3	HE 240 B, (HEB)	106.00	61.20	18.54	11260.00	3923.00	103.88
		4	HE 180 A, (HEA)	45.30	25.65	8.21	2510.00	924.60	14.89
		5	IPE 270, Simple con cartelas, (IPE) Cartela inicial inferior: 0.80 m. Cartela final inferior: 1.50 m.	45.90	20.66	14.83	5790.00	420.00	15.90
		6	IPE 160, (IPE)	20.10	9.10	6.53	869.00	68.30	3.54
		7	SHS 100x4.0, (SHS)	14.94	6.40	6.40	225.78	225.78	361.82
		8	FL 140 x 20, (Platines)	28.00	23.33	23.33	457.33	9.33	33.88
		9	SHS 40x5.0, (SHS)	6.34	2.92	2.92	11.98	11.98	22.07
		10	IPE 240, (IPE)	39.10	17.64	12.30	3892.00	284.00	12.95
		11	R 16, (R)	2.01	1.81	1.81	0.32	0.32	0.64

Notación:
Ref.: Referencia
A: Área de la sección transversal
Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
It: Inercia a torsión
Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

2.1.2.4. Tabla de medición

Tabla de medición

Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero laminado	S275 (UNE-EN 10025-2)	N1/N2	HE 140 A (HEA)	3.500	0.011	86.27
		N3/N4	HE 140 A (HEA)	2.540	0.008	62.61
		N4/N2	IPE 200 (IPE)	6.472	0.018	144.79
		N5/N6	HE 240 B (HEB)	3.500	0.037	291.23
		N7/N8	HE 180 A (HEA)	2.540	0.012	90.32
		N8/N6	IPE 270 (IPE)	6.472	0.049	272.90
		N9/N10	HE 140 A (HEA)	3.500	0.011	86.27
		N11/N12	HE 140 A (HEA)	2.540	0.008	62.61
		N12/N10	IPE 200 (IPE)	6.472	0.018	144.79
		N13/N15	IPE 160 (IPE)	3.020	0.006	47.65
		N14/N16	IPE 160 (IPE)	3.020	0.006	47.65
		N2/N6	SHS 100x4.0 (SHS)	4.700	0.007	55.11
		N6/N10	SHS 100x4.0 (SHS)	4.700	0.007	55.11
		N4/N8	SHS 100x4.0 (SHS)	4.700	0.007	55.11
		N8/N12	SHS 100x4.0 (SHS)	4.700	0.007	55.11
		N17/N19	FL 140 x 20 (Platines)	0.120	0.000	2.64
		N20/N21	FL 140 x 20 (Platines)	0.120	0.000	2.64
		N19/N21	HE 140 A (HEA)	0.800	0.003	19.72
		N22/N21	SHS 40x5.0 (SHS)	2.625	0.002	13.07
		N19/N22	IPE 240 (IPE)	2.500	0.010	76.73
		N22/N18	IPE 240 (IPE)	1.980	0.008	60.77
		N11/N8	R 16 (R)	5.342	0.001	8.43
		N7/N12	R 16 (R)	5.342	0.001	8.43
		N9/N6	R 16 (R)	5.860	0.001	9.25
		N5/N10	R 16 (R)	5.860	0.001	9.25
		N5/N2	R 16 (R)	5.860	0.001	9.25
		N1/N6	R 16 (R)	5.860	0.001	9.25
		N7/N4	R 16 (R)	5.342	0.001	8.43
		N3/N8	R 16 (R)	5.342	0.001	8.43

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final

2.2. Resultados

2.2.1. Nudos

2.2.1.1. Reacciones

Referencias:

Rx, Ry, Rz: Reacciones en nudos con desplazamientos coaccionados (fuerzas).
Mx, My, Mz: Reacciones en nudos con giros coaccionados (momentos).

2.2.1.1.1. Envolventes

Envolventes de las reacciones en nudos

Referencia	Combinación		Reacciones en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N1	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	-2.130	-0.527	-1.395	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.327	0.369	2.744	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	-1.462	-0.339	-0.873	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.243	0.238	1.829	0.000	0.000	0.000
N3	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	-0.446	-0.616	-0.188	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.228	0.527	0.975	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	-0.278	-0.425	0.019	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.142	0.327	0.736	0.000	0.000	0.000
N5	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	-2.416	-1.664	-1.104	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	2.050	2.373	8.402	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	-1.586	-0.964	-0.194	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	1.357	1.817	5.809	0.000	0.000	0.000
N7	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	-0.295	-2.080	-0.374	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.295	0.857	3.970	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	-0.191	-1.574	0.127	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.191	0.464	2.885	0.000	0.000	0.000
N9	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	-0.327	-0.527	-1.685	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	2.482	0.369	2.455	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	-0.234	-0.339	-1.053	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	1.682	0.238	1.649	0.000	0.000	0.000
N11	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	-0.228	-0.616	-0.188	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.446	0.527	0.975	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	-0.142	-0.425	0.019	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.278	0.327	0.736	0.000	0.000	0.000
N13	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	-0.462	0.000	-0.637	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.395	0.000	1.782	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	-0.289	0.000	-0.203	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.247	0.000	1.350	0.000	0.000	0.000
N14	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	-0.395	0.000	-0.637	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.462	0.000	1.782	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	-0.247	0.000	-0.203	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.289	0.000	1.351	0.000	0.000	0.000

Nota: Las combinaciones de hormigón indicadas son las mismas que se utilizan para comprobar el estado límite de equilibrio en la cimentación.

2.2.2. Barras

2.2.2.1. Esfuerzos

Referencias:

N: Esfuerzo axil (t)
Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (t)
Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (t)
Mt: Momento torsor (t·m)
My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (t·m)
Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (t·m)

2.2.2.1.1. Envolventes

Envolventes de los esfuerzos en barras

Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m
N1/N2	Acero laminado	$N_{mín}$	-2.507	-2.463	-2.419	-2.353	-2.309	-2.265	-2.199	-2.155	-2.119
		$N_{máx}$	0.263	0.289	0.315	0.355	0.381	0.407	0.446	0.472	0.494
		$Vy_{mín}$	-0.307	-0.235	-0.163	-0.093	-0.070	-0.099	-0.142	-0.184	-0.203
		$Vy_{máx}$	0.200	0.152	0.105	0.062	0.054	0.097	0.198	0.265	0.300
		$Vz_{mín}$	-0.345	-0.250	-0.213	-0.157	-0.120	-0.082	-0.027	-0.095	-0.168

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m
		$Vz_{máx}$	0.495	0.422	0.349	0.240	0.168	0.197	0.343	0.440	0.537
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	-0.178	-0.328	-0.500	-0.580	-0.631	-0.655	-0.635	-0.588
		$My_{máx}$	0.000	0.115	0.194	0.302	0.356	0.395	0.427	0.430	0.419
		$Mz_{mín}$	0.000	-0.068	-0.118	-0.158	-0.172	-0.179	-0.169	-0.149	-0.184
		$Mz_{máx}$	0.000	0.105	0.183	0.247	0.256	0.267	0.252	0.221	0.241

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.212 m	0.635 m	0.847 m	1.270 m	1.693 m	1.905 m	2.328 m	2.540 m
N3/N4	Acero laminado	$N_{mín}$	-0.859	-0.835	-0.787	-0.763	-0.715	-0.667	-0.643	-0.595	-0.571
		$N_{máx}$	0.147	0.162	0.190	0.204	0.233	0.261	0.275	0.304	0.318
		$Vy_{mín}$	-0.213	-0.174	-0.095	-0.056	-0.027	-0.079	-0.105	-0.157	-0.183
		$Vy_{máx}$	0.133	0.107	0.055	0.029	0.026	0.104	0.143	0.221	0.260
		$Vz_{mín}$	-0.496	-0.456	-0.377	-0.338	-0.259	-0.180	-0.152	-0.257	-0.310
		$Vz_{máx}$	0.576	0.556	0.515	0.495	0.454	0.414	0.394	0.353	0.333
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	-0.120	-0.346	-0.453	-0.654	-0.838	-0.924	-1.082	-1.154
		$My_{máx}$	0.000	0.101	0.277	0.353	0.479	0.572	0.606	0.649	0.657
		$Mz_{mín}$	0.000	-0.025	-0.060	-0.068	-0.070	-0.049	-0.030	-0.014	-0.065
		$Mz_{máx}$	0.000	0.041	0.098	0.114	0.121	0.095	0.070	0.031	0.067

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.404 m	0.809 m	1.213 m	1.618 m	2.022 m	2.427 m	2.831 m	3.236 m
N4/N16	Acero laminado	$N_{mín}$	-0.341	-0.327	-0.314	-0.301	-0.287	-0.277	-0.273	-0.268	-0.264
		$N_{máx}$	0.279	0.284	0.288	0.293	0.297	0.305	0.319	0.332	0.345
		$Vy_{mín}$	-0.258	-0.250	-0.242	-0.234	-0.228	-0.226	-0.224	-0.222	-0.219
		$Vy_{máx}$	0.210	0.203	0.197	0.192	0.188	0.185	0.182	0.181	0.181
		$Vz_{mín}$	-0.494	-0.427	-0.401	-0.397	-0.435	-0.490	-0.545	-0.600	-0.656
		$Vz_{máx}$	0.332	0.232	0.180	0.218	0.297	0.393	0.493	0.623	0.753
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	-1.132	-1.001	-0.880	-0.737	-0.573	-0.386	-0.176	-0.149	-0.419
		$My_{máx}$	0.646	0.629	0.606	0.545	0.444	0.304	0.126	0.055	0.309
		$Mz_{mín}$	-0.332	-0.230	-0.130	-0.056	-0.075	-0.150	-0.223	-0.296	-0.369
		$Mz_{máx}$	0.248	0.164	0.083	0.031	0.113	0.193	0.271	0.349	0.426

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.404 m	0.809 m	1.213 m	1.618 m	2.022 m	2.427 m	2.831 m	3.236 m
N16/N2	Acero laminado	$N_{mín}$	-0.195	-0.182	-0.168	-0.155	-0.142	-0.128	-0.115	-0.110	-0.105
		$N_{máx}$	0.396	0.401	0.405	0.410	0.414	0.419	0.423	0.436	0.449
		$Vy_{mín}$	-0.165	-0.172	-0.178	-0.183	-0.187	-0.190	-0.192	-0.194	-0.194
		$Vy_{máx}$	0.213	0.220	0.227	0.234	0.241	0.246	0.249	0.251	0.254
		$Vz_{mín}$	-0.603	-0.475	-0.348	-0.227	-0.133	-0.130	-0.207	-0.313	-0.482
		$Vz_{máx}$	0.215	0.148	0.109	0.089	0.069	0.116	0.220	0.350	0.480
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	-0.419	-0.219	-0.138	-0.141	-0.159	-0.192	-0.241	-0.304	-0.410
		$My_{máx}$	0.309	0.257	0.236	0.281	0.339	0.379	0.406	0.458	0.581
		$Mz_{mín}$	-0.369	-0.301	-0.231	-0.159	-0.085	-0.040	-0.140	-0.241	-0.344
		$Mz_{máx}$	0.426	0.347	0.269	0.190	0.108	0.050	0.085	0.149	0.228

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.212 m	0.635 m	0.847 m	1.270 m	1.693 m	1.905 m	2.328 m	2.540 m
N5/N17	Acero laminado	$N_{mín}$	-9.170	-9.126	-9.038	-8.994	-8.906	-8.819	-8.775	-8.687	-8.643
		$N_{máx}$	1.184	1.210	1.262	1.288	1.340	1.392	1.418	1.470	1.496
		$Vy_{mín}$	-3.431	-3.431	-3.431	-3.431	-3.431	-3.431	-3.431	-3.431	-3.431
		$Vy_{máx}$	4.091	4.091	4.091	4.091	4.091	4.091	4.091	4.091	4.091
		$Vz_{mín}$	-2.194	-2.170	-2.121	-2.097	-2.049	-2.000	-1.976	-1.927	-1.903
		$Vz_{máx}$	1.588	1.509	1.351	1.272	1.114	0.956	0.877	0.719	0.640
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	-0.328	-0.933	-1.211	-1.716	-2.154	-2.347	-2.685	-2.829
		$My_{máx}$	0.000	0.462	1.370	1.817	2.694	3.551	3.972	4.798	5.203
		$Mz_{mín}$	0.000	-0.866	-2.598	-3.464	-5.196	-6.927	-7.793	-9.525	-10.391
		$Mz_{máx}$	0.000	0.726	2.179	2.905	4.357	5.810	6.536	7.988	8.715

Envolventes de los esfuerzos en barras							
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra				
			0.000 m	0.200 m	0.400 m	0.600 m	0.800 m
N17/N20	Acero laminado	$N_{mín}$	-3.855	-3.813	-3.772	-3.730	-3.689
		$N_{máx}$	1.348	1.373	1.398	1.422	1.447
		$Vy_{mín}$	-11.873	-11.873	-11.873	-11.873	-11.873
		$Vy_{máx}$	12.533	12.533	12.533	12.533	12.533
		$Vz_{mín}$	-0.379	-0.356	-0.333	-0.310	-0.287
		$Vz_{máx}$	9.705	9.673	9.719	9.765	9.810
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	-2.811	-2.996	-3.167	-4.469	-6.356
		$My_{máx}$	5.072	3.325	2.679	2.709	2.731
		$Mz_{mín}$	-10.391	-8.019	-5.646	-3.273	-1.339
		$Mz_{máx}$	8.715	6.210	3.706	1.201	0.029

Envolventes de los esfuerzos en barras					
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.080 m	0.160 m
N20/N6	Acero laminado	$N_{mín}$	-3.740	-3.723	-3.707
		$N_{máx}$	2.070	2.080	2.090
		$Vy_{mín}$	-11.873	-11.873	-11.873
		$Vy_{máx}$	0.009	0.009	0.009
		$Vz_{mín}$	-1.811	-1.802	-1.792
		$Vz_{máx}$	0.815	0.846	0.876
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	-6.499	-6.419	-6.337
		$My_{máx}$	2.739	2.790	2.839
		$Mz_{mín}$	-1.339	-1.065	-0.791
		$Mz_{máx}$	0.029	0.084	1.034

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.212 m	0.635 m	0.847 m	1.270 m	1.693 m	1.905 m	2.328 m	2.540 m
N7/N8	Acero laminado	$N_{mín}$	-3.584	-3.554	-3.493	-3.463	-3.402	-3.341	-3.311	-3.250	-3.220
		$N_{máx}$	0.457	0.475	0.511	0.529	0.565	0.601	0.619	0.655	0.673

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.212 m	0.635 m	0.847 m	1.270 m	1.693 m	1.905 m	2.328 m	2.540 m
		$Vy_{mín}$	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
		$Vy_{máx}$	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		$Vz_{mín}$	-0.830	-0.751	-0.593	-0.514	-0.356	-0.242	-0.322	-0.483	-0.564
		$Vz_{máx}$	1.921	1.897	1.848	1.824	1.775	1.727	1.702	1.654	1.630
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	-0.404	-1.197	-1.585	-2.347	-3.089	-3.452	-4.162	-4.509
		$My_{máx}$	0.000	0.167	0.452	0.569	0.753	0.871	0.904	0.921	0.905
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	-0.001	-0.002	-0.002	-0.003	-0.003	-0.004	-0.005
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004

Envolventes de los esfuerzos en barras												
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra									
			0.000 m	0.799 m	0.801 m	1.763 m	2.404 m	3.367 m	4.009 m	4.971 m	4.973 m	5.628 m	6.472 m
N8/N6	Acero laminado	$N_{mín}$	-2.510	-2.351	-2.126	-2.045	-1.991	-1.910	-1.856	-1.775	-1.786	-1.754	-1.716
		$N_{máx}$	0.724	0.725	0.699	0.719	0.733	0.753	0.766	0.787	0.809	0.832	0.862
		$Vy_{mín}$	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
		$Vy_{máx}$	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
		$Vz_{mín}$	-2.598	-2.177	-2.405	-1.937	-1.738	-1.532	-1.604	-1.713	-1.795	-1.866	-2.083
		$Vz_{máx}$	0.802	0.504	0.486	0.381	0.310	0.509	0.804	1.392	1.358	1.784	2.342
		$Mt_{mín}$	-0.006	-0.006	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.005	-0.005	-0.005
		$Mt_{máx}$	0.006	0.006	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.006	0.006	0.006
		$My_{mín}$	-4.265	-2.582	-2.637	-1.348	-0.967	-0.459	-0.568	-0.761	-0.751	-1.367	-2.801
		$My_{máx}$	0.952	0.806	0.787	1.308	1.585	2.515	3.016	3.988	4.046	4.845	6.480
		$Mz_{mín}$	-0.052	-0.052	-0.052	-0.051	-0.051	-0.050	-0.049	-0.050	-0.050	-0.051	-0.052
		$Mz_{máx}$	0.052	0.052	0.052	0.051	0.051	0.050	0.049	0.048	0.048	0.048	0.047

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m
N9/N10	Acero laminado	$N_{mín}$	-2.236	-2.192	-2.148	-2.082	-2.038	-1.994	-1.928	-1.884	-1.847
		$N_{máx}$	0.263	0.289	0.315	0.355	0.381	0.407	0.446	0.472	0.494
		$Vy_{mín}$	-0.200	-0.152	-0.118	-0.075	-0.067	-0.110	-0.198	-0.265	-0.300
		$Vy_{máx}$	0.307	0.235	0.163	0.080	0.057	0.085	0.137	0.184	0.203
		$Vz_{mín}$	-0.345	-0.250	-0.213	-0.157	-0.120	-0.082	-0.027	-0.095	-0.168
		$Vz_{máx}$	0.495	0.422	0.349	0.240	0.168	0.197	0.343	0.440	0.537
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	-0.178	-0.328	-0.500	-0.580	-0.631	-0.655	-0.635	-0.588
		$My_{máx}$	0.000	0.115	0.194	0.302	0.356	0.395	0.427	0.430	0.419
		$Mz_{mín}$	0.000	-0.105	-0.183	-0.247	-0.254	-0.239	-0.216	-0.181	-0.196
		$Mz_{máx}$	0.000	0.068	0.118	0.171	0.194	0.207	0.205	0.189	0.229

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.212 m	0.635 m	0.847 m	1.270 m	1.693 m	1.905 m	2.328 m	2.540 m
N11/N12	Acero laminado	$N_{mín}$	-0.859	-0.835	-0.787	-0.763	-0.715	-0.667	-0.643	-0.595	-0.571
		$N_{máx}$	0.147	0.162	0.190	0.204	0.233	0.261	0.275	0.304	0.318
		$Vy_{mín}$	-0.133	-0.107	-0.055	-0.029	-0.026	-0.104	-0.143	-0.221	-0.260
		$Vy_{máx}$	0.213	0.174	0.095	0.056	0.027	0.079	0.105	0.157	0.183
		$Vz_{mín}$	-0.496	-0.456	-0.377	-0.338	-0.259	-0.180	-0.152	-0.257	-0.310
		$Vz_{máx}$	0.576	0.556	0.515	0.495	0.454	0.414	0.394	0.353	0.333
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	-0.120	-0.346	-0.453	-0.654	-0.838	-0.924	-1.082	-1.154
		$My_{máx}$	0.000	0.101	0.277	0.353	0.479	0.572	0.606	0.649	0.657
		$Mz_{mín}$	0.000	-0.041	-0.098	-0.114	-0.121	-0.095	-0.070	-0.031	-0.067
		$Mz_{máx}$	0.000	0.025	0.060	0.068	0.070	0.049	0.030	0.014	0.065

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.404 m	0.809 m	1.213 m	1.618 m	2.022 m	2.427 m	2.831 m	3.236 m
N12/N15	Acero laminado	$N_{mín}$	-0.341	-0.327	-0.314	-0.301	-0.287	-0.277	-0.273	-0.268	-0.264
		$N_{máx}$	0.279	0.284	0.288	0.293	0.297	0.305	0.319	0.332	0.345
		$Vy_{mín}$	-0.210	-0.203	-0.197	-0.192	-0.188	-0.185	-0.182	-0.181	-0.181
		$Vy_{máx}$	0.258	0.250	0.242	0.234	0.228	0.226	0.224	0.222	0.219
		$Vz_{mín}$	-0.494	-0.427	-0.401	-0.397	-0.435	-0.490	-0.545	-0.600	-0.656
		$Vz_{máx}$	0.332	0.232	0.180	0.218	0.297	0.393	0.493	0.623	0.753
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	-1.132	-1.001	-0.880	-0.737	-0.573	-0.386	-0.176	-0.149	-0.419
		$My_{máx}$	0.646	0.629	0.606	0.545	0.444	0.304	0.126	0.055	0.309
		$Mz_{mín}$	-0.248	-0.164	-0.083	-0.031	-0.113	-0.193	-0.271	-0.349	-0.426
		$Mz_{máx}$	0.332	0.230	0.130	0.056	0.075	0.150	0.223	0.296	0.369

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.404 m	0.809 m	1.213 m	1.618 m	2.022 m	2.427 m	2.831 m	3.236 m
N15/N10	Acero laminado	$N_{mín}$	-0.195	-0.182	-0.168	-0.155	-0.142	-0.128	-0.115	-0.110	-0.105
		$N_{máx}$	0.396	0.401	0.405	0.410	0.414	0.419	0.423	0.436	0.449
		$Vy_{mín}$	-0.213	-0.220	-0.227	-0.234	-0.241	-0.246	-0.249	-0.251	-0.254
		$Vy_{máx}$	0.165	0.172	0.178	0.183	0.187	0.190	0.192	0.194	0.194
		$Vz_{mín}$	-0.603	-0.475	-0.348	-0.227	-0.133	-0.130	-0.207	-0.313	-0.482
		$Vz_{máx}$	0.215	0.148	0.109	0.089	0.069	0.116	0.220	0.350	0.480
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	-0.419	-0.219	-0.138	-0.141	-0.159	-0.192	-0.241	-0.304	-0.410
		$My_{máx}$	0.309	0.257	0.236	0.281	0.339	0.379	0.406	0.458	0.581
		$Mz_{mín}$	-0.426	-0.347	-0.269	-0.190	-0.108	-0.050	-0.085	-0.149	-0.228
		$Mz_{máx}$	0.369	0.301	0.231	0.159	0.085	0.040	0.140	0.241	0.344

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.378 m	0.755 m	1.133 m	1.510 m	1.888 m	2.265 m	2.643 m	3.020 m
N13/N15	Acero laminado	$N_{mín}$	-1.589	-1.556	-1.524	-1.491	-1.459	-1.426	-1.394	-1.361	-1.336
		$N_{máx}$	0.672	0.692	0.711	0.730	0.749	0.769	0.788	0.807	0.822
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	-0.433	-0.325	-0.216	-0.107	-0.002	-0.094	-0.187	-0.279	-0.344
		$Vz_{máx}$	0.370	0.277	0.184	0.091	0.002	0.111	0.220	0.327	0.404
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	-0.122	-0.209	-0.261	-0.278	-0.260	-0.207	-0.119	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.143	0.245	0.306	0.326	0.305	0.242	0.139	0.000
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.378 m	0.755 m	1.133 m	1.510 m	1.888 m	2.265 m	2.643 m	3.020 m
N14/N16	Acero laminado	$N_{mín}$	-1.589	-1.556	-1.524	-1.491	-1.459	-1.426	-1.394	-1.361	-1.336
		$N_{máx}$	0.672	0.692	0.711	0.730	0.749	0.769	0.788	0.807	0.822
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	-0.370	-0.277	-0.184	-0.091	-0.002	-0.111	-0.220	-0.327	-0.404
		$Vz_{máx}$	0.433	0.325	0.216	0.107	0.002	0.094	0.187	0.279	0.344
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	-0.143	-0.245	-0.306	-0.326	-0.305	-0.242	-0.139	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.122	0.209	0.261	0.278	0.260	0.207	0.119	0.000
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.588 m	1.175 m	1.763 m	2.350 m	2.938 m	3.525 m	4.112 m	4.700 m
N2/N6	Acero laminado	$N_{mín}$	-2.124	-2.124	-2.124	-2.124	-2.124	-2.124	-2.124	-2.124	-2.124
		$N_{máx}$	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533
		$Vy_{mín}$	-0.126	-0.126	-0.126	-0.126	-0.126	-0.126	-0.126	-0.126	-0.126
		$Vy_{máx}$	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069	0.069
		$Vz_{mín}$	-0.197	-0.188	-0.179	-0.169	-0.161	-0.156	-0.150	-0.145	-0.139
		$Vz_{máx}$	0.117	0.123	0.128	0.134	0.141	0.150	0.159	0.168	0.178
		$Mt_{mín}$	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031	-0.031
		$Mt_{máx}$	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
		$My_{mín}$	-0.264	-0.150	-0.047	-0.058	-0.117	-0.180	-0.256	-0.352	-0.453
		$My_{máx}$	0.215	0.144	0.084	0.111	0.187	0.257	0.333	0.419	0.502
		$Mz_{mín}$	-0.340	-0.266	-0.192	-0.123	-0.088	-0.076	-0.081	-0.094	-0.134
		$Mz_{máx}$	0.225	0.191	0.156	0.122	0.090	0.057	0.105	0.179	0.253

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.588 m	1.175 m	1.763 m	2.350 m	2.938 m	3.525 m	4.112 m	4.700 m
N6/N10	Acero laminado	$N_{mín}$	-1.793	-1.793	-1.793	-1.793	-1.793	-1.793	-1.793	-1.793	-1.793
		$N_{máx}$	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533
		$Vy_{mín}$	-0.069	-0.069	-0.069	-0.069	-0.069	-0.069	-0.069	-0.069	-0.069
		$Vy_{máx}$	0.126	0.126	0.126	0.126	0.126	0.126	0.126	0.126	0.126
		$Vz_{mín}$	-0.213	-0.204	-0.195	-0.185	-0.176	-0.169	-0.164	-0.158	-0.153
		$Vz_{máx}$	0.104	0.109	0.115	0.120	0.126	0.134	0.143	0.152	0.162
		$Mt_{mín}$	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006
		$Mt_{máx}$	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
		$My_{mín}$	-0.574	-0.451	-0.335	-0.238	-0.154	-0.074	-0.042	-0.125	-0.218
		$My_{máx}$	0.382	0.319	0.254	0.199	0.150	0.095	0.084	0.170	0.261
		$Mz_{mín}$	-0.134	-0.094	-0.081	-0.076	-0.088	-0.123	-0.192	-0.266	-0.340
		$Mz_{máx}$	0.253	0.179	0.105	0.057	0.090	0.122	0.156	0.191	0.225

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.588 m	1.175 m	1.763 m	2.350 m	2.938 m	3.525 m	4.112 m	4.700 m
N4/N8	Acero laminado	$N_{mín}$	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392
		$N_{máx}$	0.492	0.492	0.492	0.492	0.492	0.492	0.492	0.492	0.492
		$Vy_{mín}$	-0.067	-0.067	-0.067	-0.067	-0.067	-0.067	-0.067	-0.067	-0.067
		$Vy_{máx}$	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118
		$Vz_{mín}$	-0.037	-0.027	-0.018	-0.009	-0.001	0.005	0.010	0.016	0.021
		$Vz_{máx}$	-0.011	-0.006	0.000	0.005	0.012	0.021	0.031	0.040	0.049
		$Mt_{mín}$	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011	-0.011
		$Mt_{máx}$	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
		$My_{mín}$	-0.031	-0.012	-0.003	0.003	0.005	0.003	-0.002	-0.022	-0.048
		$My_{máx}$	0.017	0.022	0.027	0.028	0.024	0.016	0.007	-0.003	-0.015
		$Mz_{mín}$	-0.245	-0.205	-0.166	-0.126	-0.088	-0.074	-0.116	-0.177	-0.239
		$Mz_{máx}$	0.329	0.259	0.190	0.130	0.098	0.067	0.040	0.033	0.072

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.588 m	1.175 m	1.763 m	2.350 m	2.938 m	3.525 m	4.112 m	4.700 m
N8/N12	Acero laminado	$N_{mín}$	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392
		$N_{máx}$	0.492	0.492	0.492	0.492	0.492	0.492	0.492	0.492	0.492
		$Vy_{mín}$	-0.118	-0.118	-0.118	-0.118	-0.118	-0.118	-0.118	-0.118	-0.118
		$Vy_{máx}$	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
		$Vz_{mín}$	-0.049	-0.040	-0.031	-0.021	-0.012	-0.005	0.000	0.006	0.011
		$Vz_{máx}$	-0.021	-0.016	-0.010	-0.005	0.001	0.009	0.018	0.027	0.037
		$Mt_{mín}$	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022	-0.022
		$Mt_{máx}$	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
		$My_{mín}$	-0.048	-0.022	-0.002	0.003	0.005	0.003	-0.003	-0.012	-0.031
		$My_{máx}$	-0.015	-0.003	0.007	0.016	0.024	0.028	0.027	0.022	0.017
		$Mz_{mín}$	-0.239	-0.177	-0.116	-0.074	-0.088	-0.126	-0.166	-0.205	-0.245
		$Mz_{máx}$	0.072	0.033	0.040	0.067	0.098	0.130	0.190	0.259	0.329

Envolventes de los esfuerzos en barras					
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.060 m	0.120 m
N17/N19	Acero laminado	$N_{mín}$	-10.627	-10.627	-10.627
		$N_{máx}$	-0.324	-0.324	-0.324
		$Vy_{mín}$	-1.146	-1.144	-1.142
		$Vy_{máx}$	0.148	0.149	0.150
		$Vz_{mín}$	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{máx}$	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	0.000	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{mín}$	-0.137	-0.069	0.000
		$Mz_{máx}$	0.018	0.009	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras					
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.060 m	0.120 m
N20/N21	Acero laminado	$N_{mín}$	0.324	0.324	0.324
		$N_{máx}$	10.627	10.627	10.627
		$Vy_{mín}$	-1.219	-1.217	-1.215
		$Vy_{máx}$	0.101	0.102	0.103
		$Vz_{mín}$	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{máx}$	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	0.000	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{mín}$	-0.146	-0.073	0.000
		$Mz_{máx}$	0.012	0.006	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras							
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra				
			0.000 m	0.200 m	0.400 m	0.600 m	0.800 m
N19/N21	Acero laminado	$N_{mín}$	-2.267	-2.260	-2.254	-2.247	-2.240
		$N_{máx}$	0.280	0.284	0.288	0.292	0.295
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	-0.823	-0.823	-0.823	-0.823	-0.823
		$Vz_{máx}$	-0.044	-0.044	-0.044	-0.044	-0.044
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	-0.649	-0.484	-0.320	-0.155	0.002
		$My_{máx}$	-0.033	-0.024	-0.015	-0.007	0.009
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.375 m	0.562 m	0.937 m	1.312 m	1.687 m	2.062 m	2.250 m	2.625 m
N22/N21	Acero laminado	$N_{mín}$	0.292	0.292	0.292	0.293	0.293	0.294	0.294	0.294	0.295
		$N_{máx}$	10.420	10.421	10.421	10.422	10.423	10.423	10.424	10.425	10.425
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	-0.011	-0.009	-0.008	-0.005	-0.003	-0.002	0.000	0.001	0.002
		$Vz_{máx}$	-0.002	-0.001	0.000	0.001	0.003	0.005	0.008	0.009	0.011
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	-0.015	-0.011	-0.009	-0.007	-0.006	-0.005	-0.005	-0.006	-0.009
		$My_{máx}$	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.000	-0.001	-0.002
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.208 m	0.625 m	0.833 m	1.250 m	1.667 m	1.875 m	2.292 m	2.500 m
N19/N22	Acero laminado	$N_{mín}$	-9.928	-9.928	-9.928	-9.928	-9.928	-9.928	-9.928	-9.928	-9.928
		$N_{máx}$	-0.279	-0.279	-0.279	-0.279	-0.279	-0.279	-0.279	-0.279	-0.279
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	-0.988	-0.979	-0.962	-0.953	-0.939	-0.221	-0.216	-0.206	-0.201
		$Vz_{máx}$	1.197	1.202	1.212	1.217	1.231	1.248	1.257	1.274	1.283
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	-0.649	-0.800	-1.298	-1.550	-2.060	-2.576	-2.837	-3.364	-3.631
		$My_{máx}$	-0.033	-0.028	0.079	0.278	0.671	0.435	0.316	0.074	-0.046
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.198 m	0.594 m	0.792 m	0.990 m	1.188 m	1.584 m	1.782 m	1.980 m
N22/N18	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	-1.882	-1.874	-1.857	-1.849	-1.841	-1.833	-1.816	-1.808	-1.800
		$Vz_{máx}$	-0.049	-0.044	-0.034	-0.029	-0.024	-0.019	-0.010	-0.005	0.000
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	-3.645	-3.273	-2.535	-2.168	-1.802	-1.439	-0.716	-0.357	0.000
		$My_{máx}$	-0.048	-0.039	-0.024	-0.017	-0.012	-0.008	-0.002	0.000	0.000
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.668 m	1.336 m	2.003 m	2.671 m	3.339 m	4.007 m	4.675 m	5.342 m
N11/N8	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.668 m	1.336 m	2.003 m	2.671 m	3.339 m	4.007 m	4.675 m	5.342 m
N7/N12	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.733 m	1.465 m	2.198 m	2.930 m	3.663 m	4.395 m	5.128 m	5.860 m
N9/N6	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	2.682	2.682	2.682	2.682	2.682	2.682	2.682	2.682	2.682
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.733 m	1.465 m	2.198 m	2.930 m	3.663 m	4.395 m	5.128 m	5.860 m
N5/N10	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	2.305	2.305	2.305	2.305	2.305	2.305	2.305	2.305	2.305
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.733 m	1.465 m	2.198 m	2.930 m	3.663 m	4.395 m	5.128 m	5.860 m
N5/N2	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701	2.701
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.733 m	1.465 m	2.198 m	2.930 m	3.663 m	4.395 m	5.128 m	5.860 m
N1/N6	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.668 m	1.336 m	2.003 m	2.671 m	3.339 m	4.007 m	4.675 m	5.342 m
N7/N4	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

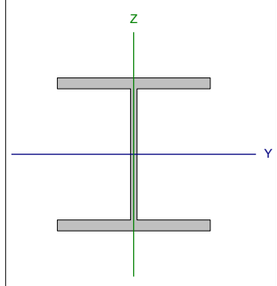
Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.668 m	1.336 m	2.003 m	2.671 m	3.339 m	4.007 m	4.675 m	5.342 m
N3/N8	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325	0.325
		$Vy_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vy_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Vz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mt_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$My_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{mín}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		$Mz_{máx}$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

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

Nota: Se muestra el listado completo de comprobaciones realizadas para las 10 barras con mayor coeficiente de aprovechamiento.

Barra N5/N17

Perfil: HE 240 B
Material: Acero (S275 (UNE-EN 10025-2))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N5	N17	2.540	106.00	11260.00	3923.00	103.88

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	2.540	5.080	2.540	2.540
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

<u>Abolladura del alma inducida por el ala comprimida</u> (Código estructural, Artículo A25.8)

Se debe satisfacer:

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

20.60 ≤ 168.93 ✓

Donde:

h_w: Canto del alma	**h_w** :	*206.00*	mm
t_w: Espesor del alma.	**t_w** :	*10.00*	mm
A_w: Área del alma.	**A_w** :	*20.60*	cm²
A_{fc}: Área eficaz del ala comprimida.	**A_{fc}** :	*40.80*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad longitudinal.	**E** :	*2140673*	kp/cm²
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.	**f_{yf}** :	*2701.33*	kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (Código Estructural, Artículo A22.6.2.3)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.005** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción. N_{Ed} : 1.496 t

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: 272.705 t

Donde:

A: Área de la sección transversal. **A** : 106.00 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2701.33 kp/cm²

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

Resistencia a compresión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.034** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q2+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. $N_{c,Ed}$: 9.170 t

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: 272.705 t

Donde:

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

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 106.00 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2701.33 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.1)

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. $\bar{\lambda}$: 0.56

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

$N_{c,Ed}$/N_{cr}: Relación de axiles. $N_{c,Ed}/N_{cr}$: 0.010

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 106.00 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. N_{cr} : 921.852 t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: 921.852 t

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: 1284.698 t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: 1712.013 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: Inercia a flexión alrededor del eje Y. I_y : 11260.00 cm4

I_z: Inercia a flexión alrededor del eje Z. I_z : 3923.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme I_t : 103.88 cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : 486900.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. L_{ky} : 5.080 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. L_{kz} : 2.540 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. L_{kt} : 2.540 m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. i_0 : 11.97 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 : 10.31 cm; i_z : 6.08 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

Resistencia a flexión eje Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.192** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. — M_{Ed}^+ : 5.203 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. — M_{Ed}^- : 2.829 t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 27.090 t·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. — $W_{pl,y}$: 1053.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : 2701.33 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo lateral: (Código Estructural, Artículo 6.3.2)

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.

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.40

M_{Ed} / M_{cr}: Relación de momentos. — M_{Ed}^+ / M_{cr}^+ : 0.029; M_{Ed}^- / M_{cr}^- : 0.016

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. — $W_{pl,y}$: 1053.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : 2701.33 kp/cm²

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. — M_{cr} : 177.492 t·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: Inercia a flexión alrededor del eje Z. — I_z : 3923.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme — I_t : 103.88 cm4

I_w: Constante de alabeo. — I_w : 486900.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. — **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : 825688 kp/cm²

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. — L_c^+ : 2.540 m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. — L_c^- : 2.540 m

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — C_1 : 1.00

C_2: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — C_2 : 1.00

C_3: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — 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 : 0.73

k_w: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra. — k_w : 0.73

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 (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.810** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q1+0.9·V(90°)H1.

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. — M_{Ed}^+ : 8.715 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q2+0.9·V(270°)H1.

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. — M_{Ed}^- : 10.391 t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 12.822 t·m

Donde:

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

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico de la sección. — $W_{pl,z}$: 498.40 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : 2701.33 kp/cm²

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

Resistencia a corte Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$ η : **0.044** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : 2.194 t

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

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $V_{c,Rd}$: 49.373 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : 33.24 cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección transversal. **A** : 106.00 cm²
b: Ancho total de la sección. **b** : 240.00 mm
t_f: Espesor del ala. **t_f** : 17.00 mm
t_w: Espesor del alma. **t_w** : 10.00 mm
r: Radio de acuerdo entre ala y alma. **r** : 21.00 mm
f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2701.33 kp/cm²
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (Código estructural, Artículo A25.5)

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

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$ **16.40** < **56.50** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : 16.40

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

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: 56.50

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

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 : 0.94

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

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. **f_{ref}** : 2395.51 kp/cm²
f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2701.33 kp/cm²

Resistencia a corte Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$ η : **0.032** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q2+0.9·V(270°)H1.

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : 4.091 t

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

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $V_{c,Rd}$: 126.848 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : 85.40 cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : 106.00 cm²
d: Altura del alma. **d** : 206.00 mm
t_w: Espesor del alma. **t_w** : 10.00 mm
f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2701.33 kp/cm²
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **2.170 t** ≤ **24.686 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.212 m del nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. **V_{Ed}** : 2.170 t
$V_{c,Rd}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. **$V_{c,Rd}$** : 49.373 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$\mathbf{V_{Ed}} \le \frac{\mathbf{V_{c,Rd}}}{2}$$ **4.091 t ≤ 63.424 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.212 m del nudo N5, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q2+0.9·V(270°)H1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: *4.091* t

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *126.848* t

Resistencia a flexión y axil combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}}\right]^{\beta} \le 1$$ η : ***0.817*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$ η : ***0.679*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$ η : ***0.885*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q2+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

Donde:

$\mathbf{N_{c,Ed}}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. $\mathbf{N_{c,Ed}}$: *8.643* t

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Valores de cálculo de los momentos solicitantes pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{M_{y,Ed}^{+}}$: *2.333* t·m; $\mathbf{M_{z,Ed}^{-}}$: *10.378* t·m

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

$\mathbf{M_{N,Rd,y}}$, $\mathbf{M_{N,Rd,z}}$: Momentos resistentes plásticos reducidos debido al esfuerzo axil, según los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{M_{N,Rd,y}}$: *27.090* t·m; $\mathbf{M_{N,Rd,z}}$: *12.822* t·m

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

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

$\alpha = 2\ ;\ \beta = 5 \cdot n \ge 1$ α : *2.000*; β : *1.000*

Siendo:

$\mathbf{n} = N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}$ **n** : *0.032*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $\mathbf{N_{pl,Rd}}$: *272.705* t

$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$, $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: *27.090* t·m; $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: *12.822* t·m

$\mathbf{a} = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \le 0.5$ **a** : *0.23*

A: Área de la sección bruta. **A** : *106.00* cm²

b: Ancho total de la sección. **b** : *24.00* cm

$\mathbf{t_f}$: Espesor del ala. $\mathbf{t_f}$: *17.00* mm

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.3)

A: Área de la sección bruta. **A** : *106.00* cm²

$\mathbf{W_{pl,y}}$, $\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra con mayor tensión, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *1053.00* cm³; $\mathbf{W_{pl,z}}$: *498.40* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2701.33* kp/cm²

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

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

$$\mathbf{k_{yy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$ $\mathbf{K_{yy}}$: *1.01*

$$\mathbf{k_{yz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$ $\mathbf{K_{yz}}$: *0.69*

$$\mathbf{k_{zy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$ $\mathbf{K_{zy}}$: *0.55*

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

$$\mathbf{C_{yy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2\right) \cdot n_{pl} - b_{LT}\right] \ge \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ $\mathbf{C_{yy}}$: *1.00*

$$\mathbf{C_{yz}} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right) \cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ $\mathbf{C_{yz}}$: *1.01*

$$\mathbf{C_{zy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right) \cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ $\mathbf{C_{zy}}$: *0.95*

$$\mathbf{C_{zz}} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right) \cdot n_{pl}\right] \ge \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ $\mathbf{C_{zz}}$: *1.01*

$$\mathbf{a_{LT}} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \ge 0$$ $\mathbf{a_{LT}}$: *0.99*

$$\mathbf{b_{LT}} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ $\mathbf{b_{LT}}$: *0.01*

$$\mathbf{c_{LT}} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ $\mathbf{c_{LT}}$: *0.03*

$$\mathbf{d_{LT}} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ $\mathbf{d_{LT}}$: *0.37*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ e_{LT} : 0.39

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ w_y : 1.12

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ w_z : 1.50

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ n_{pl} : 0.03

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 > 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$ **0.40** > **0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$ $C_{m,y}$: 1.00

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

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$ $C_{m,LT}$: 1.00

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$ ε_y : 2.72

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficientes para la obtención de la distribución uniforme del momento equivalente. $C_{m,y,0}$: 1.00 $C_{m,z,0}$: 1.00

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. 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 para pandeo lateral torsional. χ_{LT} : 1.00

$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. $\bar{\lambda}_{máx}$: 0.56

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y$: 0.56 $\bar{\lambda}_z$: 0.47

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral. $\bar{\lambda}_{LT}$: 0.40

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral cuando actúa un momento uniforme. $\bar{\lambda}_0$: 0.40

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{el,y}$: 938.33 cm³ $W_{el,z}$: 326.92 cm³

$N_{cr,y}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Y. $N_{cr,y}$: 921.852 t

$N_{cr,z}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Z. $N_{cr,z}$: 1284.698 t

$N_{cr,T}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: 1712.013 t

I_y: Inercia a flexión alrededor del eje Y. I_y : 11260.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme I_t : 103.88 cm4

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.10)

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 0.212 m del nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **2.170 t** ≤ **24.686 t** ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $V_{Ed,z}$: 2.170 t

$V_{c,Rd,z}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $V_{c,Rd,z}$: 49.373 t

Resistencia a torsión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

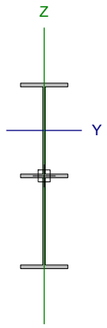
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Barra N8/N6

Perfil: IPE 270, Simple con cartelas (Cartela inicial inferior: 0.80 m. Cartela final inferior: 1.50 m.)
Material: Acero (S275 (UNE-EN 10025-2))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas[1]					
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y[2] (cm4)	I_z[2] (cm4)	I_t[3] (cm4)	y_g[4] (mm)	z_g[4] (mm)
N8	N6	6.472	76.14	26457.70	629.73	23.07	0.00	129.90

Notas:
[1] Las características mecánicas y el dibujo mostrados corresponden a la sección inicial del perfil (N8)
[2] Inercia respecto al eje indicado
[3] Momento de inercia a torsión uniforme
[4] Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.25	1.16	1.00	1.00
L_K	1.600	7.496	6.472	6.472
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

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Código estructural, Artículo A25.8)

Se debe satisfacer:

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

67.78 ≤ 335.45 ✓

Donde:

h_w: Canto del alma — h_w : 447.34 mm
t_w: Espesor del alma. — t_w : 6.60 mm
A_w: Área del alma. — A_w : 29.52 cm²
A_{fc}: Área eficaz del ala comprimida. — A_{fc} : 13.77 cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. — k : 0.30
E: Módulo de elasticidad longitudinal. — E : 2140673 kp/cm²
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. — f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (Código Estructural, Artículo A22.6.2.3)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.007** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.973 m del nudo N8, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción. — N_{Ed} : 0.809 t

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: 122.543 t

Donde:

A: Área de la sección transversal. — A : 45.90 cm²
f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : 2803.26 kp/cm²
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.019** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.799 m del nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. — $N_{c,Ed}$: 2.351 t

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: 122.543 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. — Clase : 2
A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. — A : 45.90 cm²
f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : 2803.26 kp/cm²
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.1)

Si la esbeltez $\bar{\lambda} \le 0.2$ 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. — $\bar{\lambda}$: 1.02

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

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: Relación de axiles. $N_{c,Ed}/N_{cr}$: 0.019

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 45.90 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. N_{cr} : 123.360 t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: 217.691 t

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: 346.625 t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: 123.360 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: Inercia a flexión alrededor del eje Y. I_y : 5790.00 cm4

I_z: Inercia a flexión alrededor del eje Z. I_z : 420.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme I_t : 15.90 cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : 70600.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. L_{ky} : 7.496 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. L_{kz} : 1.600 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. L_{kt} : 6.472 m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. i_0 : 11.63 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 : 11.23 cm; i_z : 3.02 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

Resistencia a flexión eje Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$ η : **0.313** ✓

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$ η : **0.851** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.973 m del nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(0°)H1+0.75·N(EI).

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^+ : 4.046 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.973 m del nudo N8, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^- : 0.751 t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$ $M_{c,Rd}$: 12.922 t·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,y}$: 484.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo lateral: (Código Estructural, Artículo 6.3.2)

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$ $M_{b,Rd}$: 4.756 t·m

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,y}$: 484.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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} : 0.37

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} : 1.78

α_{LT}: Coeficiente de imperfección elástica. α_{LT} : 0.21

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$ $\bar{\lambda}_{LT}$: 1.51

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. M_{cr} : 5.947 t·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: Inercia a flexión alrededor del eje Z. — I_z : 420.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme — I_t : 15.90 cm4

I_w: Constante de alabeo. — I_w : 70600.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. — **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : 825688 kp/cm²

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. — L_c^+ : 6.472 m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. — L_c^- : 6.472 m

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — C_1 : 1.00

C_2: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — C_2 : 1.00

C_3: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — 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

$$\mathbf{z_g} = z_a - z_s$$

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

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

Resistencia a flexión eje Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.020** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.801 m del nudo N8, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. — M_{Ed}^+ : 0.052 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.801 m del nudo N8, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. — M_{Ed}^- : 0.052 t·m

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

$$\mathbf{M_{c,Rd}} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 2.590 t·m

Donde:

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

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico de la sección. — $W_{pl,z}$: 97.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a corte Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.073** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.750 m del nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.75·N(EI).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: 2.204 t

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

$$\mathbf{V_{c,Rd}} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: 30.095 t

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: 19.52 cm²

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: 2803.26 kp/cm²

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

Abolladura por cortante del alma: (Código estructural, Artículo A25.5)

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

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

33.27 < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : 33.27

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

$\lambda_{máx}$: 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:

$\mathbf{f_{ref}}$: Límite elástico de referencia. $\mathbf{f_{ref}}$: 2395.51 kp/cm²

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

η < **0.001** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.799 m del nudo N8, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q2+0.9·V(90°)H1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: 0.002 t

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

$$\mathbf{V_{c,Rd}} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: 45.358 t

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: 29.43 cm²

$$\mathbf{A_V} = A - d\cdot t_w$$

Siendo:

$\mathbf{A}$: Área de la sección bruta. $\mathbf{A}$: 45.90 cm²

$\mathbf{d}$: Altura del alma. $\mathbf{d}$: 249.60 mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: 6.60 mm

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

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

2.598 t ≤ **26.787 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.75·N(EI).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: 2.598 t

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: 53.574 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$\mathbf{V_{Ed}} \le \frac{\mathbf{V_{c,Rd}}}{2}$$ **0.002 t** ≤ **33.291 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q2+0.9·V(90°)H1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.002* t

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *66.583* t

Resistencia a flexión y axil combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \le 1$$ η : ***0.313*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$ η : ***0.877*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$ η : ***0.465*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 4.973 m del nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(0°)H1+0.75·N(EI).

Donde:

$\mathbf{N_{c,Ed}}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. $\mathbf{N_{c,Ed}}$: *1.680* t

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Valores de cálculo de los momentos solicitantes pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.
$\mathbf{M_{y,Ed}}^+$: *4.046* t·m
$\mathbf{M_{z,Ed}}^+$: *0.000* t·m

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

$\mathbf{M_{N,Rd,y}}$: Momento resistente plástico reducido debido al esfuerzo axil, alrededor del eje Y. $\mathbf{M_{N,Rd,y}}$: *12.922* t·m

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

Siendo:

$$\mathbf{n} = N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}$$ **n** : *0.014*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $\mathbf{N_{pl,Rd}}$: *122.543* t

$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en régimen plástico, respecto al eje Y. $\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: *12.922* t·m

$$\mathbf{a} = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \le 0.5$$ **a** : *0.40*

A: Área de la sección bruta. **A** : *45.90* cm²

b: Ancho total de la sección. **b** : *13.50* cm

$\mathbf{t_f}$: Espesor del ala. $\mathbf{t_f}$: *10.20* mm

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.3)

A: Área de la sección bruta. **A** : *45.90* cm²

$\mathbf{W_{pl,y}}$, $\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra con mayor tensión, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.
$\mathbf{W_{pl,y}}$: *484.00* cm³
$\mathbf{W_{pl,z}}$: *97.00* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2803.26* kp/cm²

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

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

$$\mathbf{k_{yy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$ $\mathbf{K_{yy}}$: *1.01*

$$\mathbf{k_{yz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$ $\mathbf{K_{yz}}$: *1.57*

$$\mathbf{k_{zy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$ $\mathbf{K_{zy}}$: *0.53*

$$\mathbf{k_{zz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$ $\mathbf{K_{zz}}$: *1.07*

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*

$$\mathbf{C_{yy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2\right) \cdot n_{pl} - b_{LT}\right] \ge \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ $\mathbf{C_{yy}}$: *1.00*

$$\mathbf{C_{yz}} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right) \cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ $\mathbf{C_{yz}}$: *0.44*

$$\mathbf{C_{zy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right) \cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ $\mathbf{C_{zy}}$: *1.00*

$$\mathbf{C_{zz}} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right) \cdot n_{pl}\right] \ge \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ $\mathbf{C_{zz}}$: *0.94*

$$\mathbf{a_{LT}} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \ge 0$$ $\mathbf{a_{LT}}$: *1.00*

$$\mathbf{b_{LT}} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ $\mathbf{b_{LT}}$: *0.00*

$$\mathbf{c_{LT}} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ $\mathbf{c_{LT}}$: *3.77*

$$\mathbf{d_{LT}} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ $\mathbf{d_{LT}}$: *0.00*

$$\mathbf{e_{LT}} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ $\mathbf{e_{LT}}$: *9.16*

$$\mathbf{w_y} = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ $\mathbf{w_y}$: *1.13*

$$\mathbf{w_z} = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ $\mathbf{w_z}$: *1.50*

$$\mathbf{n_{pl}} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ $\mathbf{n_{pl}}$: *0.01*

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 > 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$ **1.51** > **0.20**

$$\mathbf{C_{m,y}} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$ $\mathbf{C_{m,y}}$: *1.00*

$$\mathbf{C_{m,z}} = C_{m,z,0}$$ $\mathbf{C_{m,z}}$: *1.00*

$$\mathbf{C_{m,LT}} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$ $\mathbf{C_{m,LT}}$: *1.01*

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$ ε_y : *22.84*

$\mathbf{C_{m,y,0}}$, $\mathbf{C_{m,z,0}}$: Coeficientes para la obtención de la distribución uniforme del momento equivalente. $\mathbf{C_{m,y,0}}$: *1.00* $\mathbf{C_{m,z,0}}$: *1.00*

$\mathbf{C_1}$: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. $\mathbf{C_1}$: *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 para pandeo lateral torsional. χ_{LT} : *0.37*

$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. $\bar{\lambda}_{máx}$: *0.77*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y$: *0.77* $\bar{\lambda}_z$: *0.61*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral. $\bar{\lambda}_{LT}$: *1.51*

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral cuando actúa un momento uniforme. $\bar{\lambda}_0$: *1.51*

$\mathbf{W_{el,y}}$, $\mathbf{W_{el,z}}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{W_{el,y}}$: *428.89* cm³ $\mathbf{W_{el,z}}$: *62.22* cm³

$\mathbf{N_{cr,y}}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Y. $\mathbf{N_{cr,y}}$: *217.691* t

$\mathbf{N_{cr,z}}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Z. $\mathbf{N_{cr,z}}$: *346.625* t

$\mathbf{N_{cr,T}}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por torsión. $\mathbf{N_{cr,T}}$: *123.360* t

$\mathbf{I_y}$: Inercia a flexión alrededor del eje Y. $\mathbf{I_y}$: *5790.00* cm4

$\mathbf{I_t}$: Módulo de torsión uniforme $\mathbf{I_t}$: *15.90* cm4

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.10)

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 $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.75·N(EI).

$$\mathbf{V_{Ed,z}} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **2.598 t** ≤ **26.787 t** ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *2.598* t

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *53.574* t

Resistencia a torsión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$ η : ***0.024*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.973 m del nudo N8, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q2+0.9·V(270°)H1.

$\mathbf{T_{Ed}}$: Valor de cálculo de los momentos a torsión totales. $\mathbf{T_{Ed}}$: *0.006* t·m

El momento torsor resistente de cálculo $\mathbf{T_{Rd}}$ viene dado por:

$$\mathbf{T_{Rd}} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, {f_y}/{\gamma_{M0}}$$ $\mathbf{T_{Rd}}$: *0.240* t·m

Donde:

$\mathbf{W_T}$: Módulo de resistencia a torsión. $\mathbf{W_T}$: *15.59* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2803.26* kp/cm²

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.063*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.750 m del nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(270°)H1+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. **V_{Ed}** : *1.877* t

T_{Ed}: Valor de cálculo de los momentos a torsión totales. **T_{Ed}** : *0.003* t·m

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *29.964* t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Valor de cálculo de la resistencia plástica a cortante. **$V_{pl,Rd}$** : *30.095* t

$\tau_{t,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{t,Ed}$: *16.67* kp/cm²

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

Siendo:

W_T: Módulo de resistencia a torsión. **W_T** : *20.42* cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : *2803.26* kp/cm²

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

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

η < ***0.001*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.799 m del nudo N8, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q2+0.9·V(90°)H1.

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. **V_{Ed}** : *0.002* t

T_{Ed}: Valor de cálculo de los momentos a torsión totales. **T_{Ed}** : *0.005* t·m

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *45.007* t

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Valor de cálculo de la resistencia plástica a cortante. **$V_{pl,Rd}$** : *45.358* t

$\tau_{t,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión. $\tau_{t,Ed}$: *29.69* kp/cm²

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

Siendo:

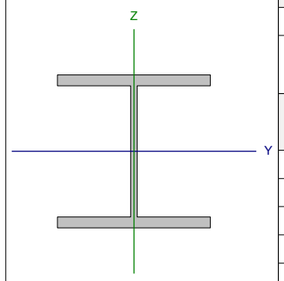
W_T: Módulo de resistencia a torsión. **W_T** : *15.59* cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : *2803.26* kp/cm²

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

Barra N17/N20

Perfil: HE 240 B
Material: Acero (S275 (UNE-EN 10025-2))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N17	N20	0.800	106.00	11260.00	3923.00	103.88

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	0.800	1.600	0.800	0.800
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

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Código estructural, Artículo A25.8)

Se debe satisfacer:

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

20.60 ≤ 168.93 ✓

Donde:

h_w: Canto del alma — **h_w** : *206.00* mm
t_w: Espesor del alma. — **t_w** : *10.00* mm
A_w: Área del alma. — **A_w** : *20.60* cm²
A_{fc}: Área eficaz del ala comprimida. — **A_{fc}** : *40.80* cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. — **k** : *0.30*
E: Módulo de elasticidad longitudinal. — **E** : *2140673* kp/cm²
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. — **f_{yf}** : *2701.33* kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (Código Estructural, Artículo A22.6.2.3)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.005*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N20, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción. — **N_{Ed}** : *1.447* t

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *272.705* t

Donde:

A: Área de la sección transversal. — **A** : *106.00* cm²
f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — **f_y** : *2701.33* kp/cm²
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a compresión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.014*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q2+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. — **$N_{c,Ed}$** : *3.855* t

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *272.705* t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. — **Clase** : *1*
A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. — **A** : *106.00* cm²
f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — **f_y** : *2701.33* kp/cm²
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.1)

Si la esbeltez $\bar{\lambda} \le 0.2$ 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. — $\bar{\lambda}$: *0.18*

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

$N_{c,Ed}$/N_{cr}: Relación de axiles. — **$N_{c,Ed}$/N_{cr}** : *0.000*

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. — **A** : 106.00 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — **f_y** : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. — **N_{cr}** : 9292.840 t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. — **$N_{cr,y}$** : 9292.840 t

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. — **$N_{cr,z}$** : 12950.555 t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. — **$N_{cr,T}$** : 11820.506 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: Inercia a flexión alrededor del eje Y. — **I_y** : 11260.00 cm4

I_z: Inercia a flexión alrededor del eje Z. — **I_z** : 3923.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme — **I_t** : 103.88 cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. — **I_w** : 486900.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. — **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. — **L_{ky}** : 1.600 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. — **L_{kz}** : 0.800 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. — **L_{kt}** : 0.800 m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. — **i_0** : 11.97 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** : 10.31 cm; **i_z** : 6.08 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

Resistencia a flexión eje Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.235** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N20, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. — **M_{Ed}^+** : 2.731 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N20, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. — **M_{Ed}^-** : 6.356 t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 27.090 t·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. — **$W_{pl,y}$** : 1053.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — **f_y** : 2701.33 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo lateral: (Código Estructural, Artículo 6.3.2)

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.

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.14

M_{Ed} / M_{cr}: Relación de momentos. — **M_{Ed}^+ / M_{cr}^+** : 0.002; **M_{Ed}^- / M_{cr}^-** : 0.004

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. — **$W_{pl,y}$** : 1053.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — **f_y** : 2701.33 kp/cm²

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. — **M_{cr}** : 1480.772 t·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: Inercia a flexión alrededor del eje Z. — **I_z** : 3923.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme — **I_t** : 103.88 cm4

I_w: Constante de alabeo. — **I_w** : 486900.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. — **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. — **G** : 825688 kp/cm²

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. — **L_c^+** : 0.800 m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. — **L_c^-** : 0.800 m

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — **C_1** : 1.00

C_2: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — **C_2** : 1.00

C_3: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — **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** : 0.23

k_w: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra. k_w : 0.23

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 (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.810** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q1+0.9·V(90°)H1.

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^+ : 8.715 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q2+0.9·V(270°)H1.

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^- : 10.391 t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 12.822 t·m

Donde:

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

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,z}$: 498.40 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2701.33 kp/cm²

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

Resistencia a corte Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.199** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N20, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(270°)H1.

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : 9.810 t

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

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 49.373 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : 33.24 cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección transversal. **A** : 106.00 cm²

b: Ancho total de la sección. **b** : 240.00 mm

t_f: Espesor del ala. t_f : 17.00 mm

t_w: Espesor del alma. t_w : 10.00 mm

r: Radio de acuerdo entre ala y alma. **r** : 21.00 mm

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2701.33 kp/cm²

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

Abolladura por cortante del alma: (Código estructural, Artículo A25.5)

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

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

16.40 < **56.50** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : 16.40

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

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: 56.50

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

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 : 0.94

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

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : 2395.51 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2701.33 kp/cm²

Resistencia a corte Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$ η : **0.099** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q1+0.9·V(270°)H1.

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : 12.533 t

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

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $V_{c,Rd}$: 126.848 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : 85.40 cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : 106.00 cm²

d: Altura del alma. **d** : 206.00 mm

t_w: Espesor del alma. t_w : 10.00 mm

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2701.33 kp/cm²

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **9.705 t ≤ 24.686 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : 9.705 t

$V_{c,Rd}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $V_{c,Rd}$: 49.373 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **12.533 t ≤ 63.424 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q1+0.9·V(270°)H1.

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : 12.533 t

$V_{c,Rd}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $V_{c,Rd}$: 126.848 t

Resistencia a flexión y axil combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.9)

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 : **0.817** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$ η : **0.654** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$ η : **0.860** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q2+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. $N_{c,Ed}$: 3.855 t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valores de cálculo de los momentos solicitantes pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^{+}$: 2.299 t·m; $M_{z,Ed}^{-}$: 10.378 t·m

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

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Momentos resistentes plásticos reducidos debido al esfuerzo axil, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{N,Rd,y}$: 27.090 t·m; $M_{N,Rd,z}$: 12.822 t·m

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

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

$$\alpha = 2 \; ; \; \beta = 5 \cdot n \geq 1$$ α : 2.000; β : 1.000

Siendo:

$$n = N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}$$ **n** : 0.014

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd}$: 272.705 t

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y}$: 27.090 t·m; $M_{pl,Rd,z}$: 12.822 t·m

$$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \leq 0.5$$ **a** : 0.23

A: Área de la sección bruta. **A** : 106.00 cm²

b: Ancho total de la sección. **b** : 24.00 cm

t_f: Espesor del ala. t_f : 17.00 mm

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.3)

A: Área de la sección bruta. — **A** : *106.00* 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. — $W_{pl,y}$: *1053.00* cm³; $W_{pl,z}$: *498.40* cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : *2701.33* kp/cm²

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} : *1.00*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$ K_{yz} : *0.69*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$ K_{zy} : *0.53*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$ K_{zz} : *0.99*

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*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ C_{yy} : *1.00*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ C_{yz} : *1.01*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ 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} : *1.01*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ 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} : *0.00*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ d_{LT} : *0.18*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ e_{LT} : *0.19*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ w_y : *1.12*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ w_z : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ n_{pl} : *0.01*

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$ **0.14** ≤ **0.20**

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

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

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

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficientes para la obtención de la distribución uniforme del momento equivalente. — $C_{m,y,0}$: *1.00*; $C_{m,z,0}$: *1.00*

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — 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 para pandeo lateral torsional. — χ_{LT} : *1.00*

$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. — $\bar{\lambda}_{máx}$: *0.18*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. — $\bar{\lambda}_y$: *0.18*; $\bar{\lambda}_z$: *0.15*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral. — $\bar{\lambda}_{LT}$: *0.14*

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral cuando actúa un momento uniforme. — $\bar{\lambda}_0$: *0.14*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $W_{el,y}$: *938.33* cm³; $W_{el,z}$: *326.92* cm³

$N_{cr,y}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Y. — $N_{cr,y}$: *9292.840* t

$N_{cr,z}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Z. — $N_{cr,z}$: *12950.555* t

$N_{cr,T}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por torsión. — $N_{cr,T}$: *11820.506* t

I_y: Inercia a flexión alrededor del eje Y. — I_y : *11260.00* cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme — I_t : *103.88* cm4

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.10)

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **9.705 t** ≤ **24.686 t** ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. — $V_{Ed,z}$: *9.705* t

$V_{c,Rd,z}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. — $V_{c,Rd,z}$: *49.373* t

Resistencia a torsión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

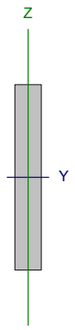
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Barra N20/N21

Perfil: FL 140 x 20
Material: Acero (S275 (UNE-EN 10025-2))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N20	N21	0.120	28.00	457.33	9.33	33.88

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	1.00	1.00
L_K	0.120	0.120	0.120	0.120
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 (Código Estructural, Artículo A22.6.2.3)

Se debe satisfacer:

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

η : *0.148* ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1).

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción. **N_{Ed}** : *10.627* t

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *72.035* t

Donde:

A: Área de la sección transversal. **A** : *28.00* cm²
f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : *2701.33* kp/cm²
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a compresión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.4)

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

Resistencia a flexión eje Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

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

Resistencia a flexión eje Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.406*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N20, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

$\mathbf{M_{Ed}^+}$: Valor de cálculo del momento flector. $\mathbf{M_{Ed}^+}$: *0.012* t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N20, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

$\mathbf{M_{Ed}^-}$: Valor de cálculo del momento flector. $\mathbf{M_{Ed}^-}$: *0.146* t·m

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

$$\mathbf{M_{c,Rd}} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$\mathbf{M_{c,Rd}}$: *0.360* t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *2*

$\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulo resistente plástico de la sección. $\mathbf{W_{pl,z}}$: *14.00* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2701.33* kp/cm²

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

Resistencia a corte Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

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

Resistencia a corte Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.029*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N20, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: *1.219* t

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

$$\mathbf{V_{c,Rd}} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *41.590* t

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: *28.00* cm²

$\mathbf{A_V} = h \cdot t$

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *140.00* mm

t: Espesor de la chapa. **t** : *20.00* mm

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2701.33* kp/cm²

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

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

1.219 t ≤ **20.795 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N20, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: *1.219* t

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *41.590* t

Resistencia a flexión y axil combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.9)

Se debe satisfacer:

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

η : *0.756* ✓

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : *0.756* ✓

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : *0.756* ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N20, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

Donde:

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción. — $N_{t,Ed}$: *10.627* t

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Valores de cálculo de los momentos solicitantes pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{y,Ed}^{+}$: *0.000* t·m; $M_{z,Ed}^{-}$: *0.146* t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. — **Clase** : *3*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistencia a tracción. — $N_{pl,Rd}$: *72.035* t

$\mathbf{M_{el,Rd,y}}$, $\mathbf{M_{el,Rd,z}}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{el,Rd,y}$: *1.681* t·m; $M_{el,Rd,z}$: *0.240* t·m

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.3)

A: Área de la sección bruta. — **A** : *28.00* cm²

$\mathbf{W_{el,y}}$, $\mathbf{W_{el,z}}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $W_{el,y}$: *65.33* cm³; $W_{el,z}$: *9.33* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : *2701.33* kp/cm²

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

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

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

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.10)

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 $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N20, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

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

1.219 t ≤ **20.795 t** ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,y}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. — $V_{Ed,y}$: *1.219* t

$\mathbf{V_{c,Rd,y}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. — $V_{c,Rd,y}$: *41.590* t

Resistencia a torsión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

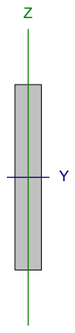
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Barra N17/N19

Perfil: FL 140 x 20
Material: Acero (S275 (UNE-EN 10025-2))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N17	N19	0.120	28.00	457.33	9.33	33.88

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	1.00	1.00
L_K	0.120	0.120	0.120	0.120
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 (Código Estructural, Artículo A22.6.2.3)

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

Resistencia a compresión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.148*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1).

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. **$N_{c,Ed}$** : *10.627* t

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *72.035* t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *3*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *28.00* cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : *2701.33* kp/cm²

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

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.1)

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. $\bar{\lambda}$: *0.24*

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

$N_{c,Ed}$/N_{cr}: Relación de axiles. **$N_{c,Ed}$/N_{cr}** : *0.008*

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *28.00* cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : *2701.33* kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr}** : *1369.381* t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : *67099.672* t

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *1369.381* t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : *7046.432* 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: Inercia a flexión alrededor del eje Y. **I_y** : *457.33* cm4

I_z: Inercia a flexión alrededor del eje Z. **I_z** : *9.33* cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme **I_t** : *33.88* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. **I_w** : *609.78* cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : *2140673* kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *825688* kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky}** : *0.120* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz}** : *0.120* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt}** : *0.120* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i_0** : *4.08* 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** : *4.04* cm **i_z** : *0.58* 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

Resistencia a flexión eje Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

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

Resistencia a flexión eje Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.381*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$\mathbf{M_{Ed}^+}$: Valor de cálculo del momento flector. $\mathbf{M_{Ed}^+}$: *0.018* t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.5·Q(2)+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

$\mathbf{M_{Ed}^-}$: Valor de cálculo del momento flector. $\mathbf{M_{Ed}^-}$: *0.137* t·m

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

$$\mathbf{M_{c,Rd}} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$\mathbf{M_{c,Rd}}$: *0.360* t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *2*

$\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulo resistente plástico de la sección. $\mathbf{W_{pl,z}}$: *14.00* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2701.33* kp/cm²

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

Resistencia a corte Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

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

Resistencia a corte Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

η : ***0.028*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.5·Q(2)+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: *1.146* t

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

$$\mathbf{V_{c,Rd}} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *41.590* t

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: *28.00* cm²

$\mathbf{A_V} = h \cdot t$

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *140.00* mm

t: Espesor de la chapa. **t** : *20.00* mm

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2701.33* kp/cm²

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

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

1.146 t ≤ **20.795 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N17, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.5·Q(2)+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: *1.146* t

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *41.590* t

Resistencia a flexión y axil combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rd,z}} \leq 1$$ η : **0.692** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$ η : **0.696** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$ η : **0.696** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. — $N_{c,Ed}$: 10.627 t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valores de cálculo de los momentos solicitantes pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{y,Ed}^{+}$: 0.000 t·m; $M_{z,Ed}^{-}$: 0.131 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. — **Clase** : 3

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. — $N_{pl,Rd}$: 72.035 t

$M_{el,Rd,y}$, $M_{el,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{el,Rd,y}$: 1.681 t·m; $M_{el,Rd,z}$: 0.240 t·m

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.3)

A: Área de la sección bruta. — **A** : 28.00 cm²

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $W_{el,y}$: 65.33 cm³; $W_{el,z}$: 9.33 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : 2701.33 kp/cm²

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

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

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$ K_{yy} : 1.00

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$ K_{yz} : 1.01

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$ K_{zy} : 1.00

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$ K_{zz} : 1.01

μ_y, μ_z: 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

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$ **0.12** ≤ **0.20**

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

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

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

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficientes para la obtención de la distribución uniforme del momento equivalente. — $C_{m,y,0}$: 1.00; $C_{m,z,0}$: 1.00

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — 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 para pandeo lateral torsional. — χ_{LT} : 1.00

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. — $\bar{\lambda}_y$: 0.03; $\bar{\lambda}_z$: 0.24

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral. — $\bar{\lambda}_{LT}$: 0.12

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral cuando actúa un momento uniforme. — $\bar{\lambda}_0$: 0.12

$N_{cr,y}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Y. — $N_{cr,y}$: 67099.672 t

$N_{cr,z}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Z. — $N_{cr,z}$: 1369.381 t

$N_{cr,T}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por torsión. — $N_{cr,T}$: 7046.432 t

I_y: Inercia a flexión alrededor del eje Y. — I_y : 457.33 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme — I_t : 33.88 cm4

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.10)

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 $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N17, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.5·Q(2)+1.5·Qp+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

$$\mathbf{V_{Ed,y}} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$ **1.146 t ≤ 20.795 t** ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,y}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed,y}}$: *1.146* t

$\mathbf{V_{c,Rd,y}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd,y}}$: *41.590* t

Resistencia a torsión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

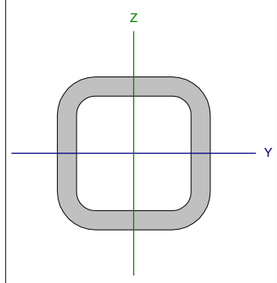
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Barra N22/N21

Perfil: SHS 40x5.0
Material: Acero (S275 (UNE-EN 10025-2))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N22	N21	2.625	6.34	11.98	11.98	22.07

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	1.00	1.00	1.00	1.00
L_K	2.625	2.625	2.625	2.625
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

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Código estructural, Artículo A25.8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{\mathbf{h_w}}{\mathbf{t_w}} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$ **6.00 ≤ 280.58** ✓

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Canto del alma $\mathbf{h_w}$: *30.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *5.00* mm

$\mathbf{A_w}$: Área del alma. $\mathbf{A_w}$: *3.00* cm²

$\mathbf{A_{fc}}$: Área eficaz del ala comprimida. $\mathbf{A_{fc}}$: *2.00* cm²

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

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : *2140673* kp/cm²

$\mathbf{f_{yf}}$: Límite elástico del acero del ala comprimida. $\mathbf{f_{yf}}$: *2803.26* kp/cm²

Siendo:

$f_{yf} = f_y$

Resistencia a tracción (Código Estructural, Artículo A22.6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$ η : **0.616** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N21, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción. **N_{Ed}** : 10.425 t

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$ **$N_{t,Rd}$** : 16.929 t

Donde:

A: Área de la sección transversal. **A** : 6.34 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a compresión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.4)

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

Resistencia a flexión eje Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$ η : **0.069** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N22, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q(3).

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. **M_{Ed}^+** : 0.001 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N22, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1).

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. **M_{Ed}^-** : 0.015 t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$ **$M_{c,Rd}$** : 0.212 t·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. **$W_{pl,y}$** : 7.94 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a flexión eje Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

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

Resistencia a corte Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$ η : **0.002** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N22, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. **V_{Ed}** : 0.011 t

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

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ **$V_{c,Rd}$** : 4.624 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : 3.00 cm²

$$A_V = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma. **d** : 30.00 mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : 5.00 mm

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

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

Abolladura por cortante del alma: (Código estructural, Artículo A25.5)

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

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$ **6.00** < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : 6.00

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

$\lambda_{máx}$: 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}** : 2395.51 kp/cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$\mathbf{V_{Ed}} \le \frac{\mathbf{V_{c,Rd}}}{2} \qquad \mathbf{0.011\ t} \le \mathbf{2.312\ t}$$

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

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.011* t

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *4.624* t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

Resistencia a flexión y axil combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \le 1 \qquad \eta : \mathbf{0.145}$$

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1 \qquad \eta : \mathbf{0.684}$$

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1 \qquad \eta : \mathbf{0.684}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N22, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

Donde:

$\mathbf{N_{t,Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción. $\mathbf{N_{t,Ed}}$: *10.420* t

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Valores de cálculo de los momentos solicitantes pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{M_{y,Ed}^-}$: *0.015* t·m; $\mathbf{M_{z,Ed}^+}$: *0.000* t·m

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

$\mathbf{M_{N,Rd,y}}$: Momento resistente plástico reducido debido al esfuerzo axil, alrededor del eje Y. $\mathbf{M_{N,Rd,y}}$: *0.100* t·m

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

Siendo:

$\mathbf{n} = N_{t,Ed}/N_{pl,Rd}$ $\mathbf{n}$: *0.616*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistencia a tracción. $\mathbf{N_{pl,Rd}}$: *16.929* t

$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en régimen plástico, respecto al eje Y. $\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: *0.212* t·m

$\mathbf{a_w} = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \le 0.5$ $\mathbf{a_w}$: *0.37*

A: Área de la sección bruta. **A** : *6.34* cm²

b: Ancho total de la sección. **b** : *4.00* cm

$\mathbf{t_f}$: Espesor del ala. $\mathbf{t_f}$: *5.00* mm

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.3)

A: Área de la sección bruta. **A** : *6.34* cm²

$\mathbf{W_{pl,y}}$, $\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra con mayor tensión, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *7.94* cm³; $\mathbf{W_{pl,z}}$: *7.94* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2803.26* kp/cm²

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

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

χ_{LT}: Coeficiente de reducción para pandeo lateral torsional. χ_{LT} : *1.00*

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.10)

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 $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

$$\mathbf{V_{Ed,z}} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **0.011 t** ≤ **2.312 t** ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *0.011* t

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *4.624* t

Resistencia a torsión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

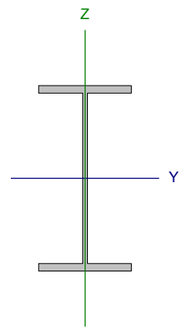
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Barra N19/N22

Perfil: IPE 240
Material: Acero (S275 (UNE-EN 10025-2))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N19	N22	2.500	39.10	3892.00	284.00	12.95

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

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	1.00	1.00
L_K	2.500	2.500	2.500	2.500
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

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Código estructural, Artículo A25.8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{\mathbf{h_w}}{\mathbf{t_w}} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$ **35.55** ≤ **246.95** ✓

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Canto del alma $\mathbf{h_w}$: *220.40* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *6.20* mm

$\mathbf{A_w}$: Área del alma. $\mathbf{A_w}$: *13.66* cm²

$\mathbf{A_{fc}}$: Área eficaz del ala comprimida. $\mathbf{A_{fc}}$: *11.76* cm²

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

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : *2140673* kp/cm²

$\mathbf{f_{yf}}$: Límite elástico del acero del ala comprimida. $\mathbf{f_{yf}}$: *2803.26* kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (Código Estructural, Artículo A22.6.2.3)

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

Resistencia a compresión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.095*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$ η : **0.172** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. $N_{c,Ed}$: 9.928 t

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$ $N_{c,Rd}$: 104.388 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 39.10 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.1)

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

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$ $N_{b,Rd}$: 57.859 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 39.10 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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 : 0.98
χ_z : 0.55
χ_T : 0.78

Siendo:

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

ϕ_y : 0.55
ϕ_z : 1.22
ϕ_T : 0.84

α: Coeficiente de imperfección.

α_y : 0.21
α_z : 0.34
α_T : 0.34

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

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

$\bar{\lambda}_y$: 0.29
$\bar{\lambda}_z$: 1.07
$\bar{\lambda}_T$: 0.71

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. N_{cr} : 96.004 t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: 1315.658 t

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: 96.004 t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: 218.490 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: Inercia a flexión alrededor del eje Y. I_y : 3892.00 cm4

I_z: Inercia a flexión alrededor del eje Z. I_z : 284.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme I_t : 12.95 cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : 37400.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. L_{ky} : 2.500 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. L_{kz} : 2.500 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. L_{kt} : 2.500 m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. i_0 : 10.33 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 : 9.98 cm; i_z : 2.70 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

Resistencia a flexión eje Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$ η : **0.371** ✓

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$ η : **0.476** ✓

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^+ : 0.000 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N22, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1).

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^- : 3.631 t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 9.798 t·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,y}$: 367.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo lateral: (Código Estructural, Artículo 6.3.2)

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$M_{b,Rd}$: 7.630 t·m

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,y}$: 367.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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} : 0.78

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} : 0.91

α_{LT}: Coeficiente de imperfección elástica. α_{LT} : 0.21

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.83

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. M_{cr} : 14.968 t·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: Inercia a flexión alrededor del eje Z. I_z : 284.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme I_t : 12.95 cm4

I_w: Constante de alabeo. I_w : 37400.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : 825688 kp/cm²

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. L_c^+ : 2.500 m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. L_c^- : 2.500 m

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. C_1 : 1.00

C_2: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. C_2 : 1.00

C_3: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. 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 (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

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

Resistencia a corte Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.044*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N22, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : *1.283* t

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

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $V_{c,Rd}$: *29.483* t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *19.13* cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección transversal. **A** : *39.10* cm²

b: Ancho total de la sección. **b** : *120.00* mm

t_f: Espesor del ala. t_f : *9.80* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *6.20* mm

r: Radio de acuerdo entre ala y alma. **r** : *15.00* mm

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : *2803.26* kp/cm²

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

Abolladura por cortante del alma: (Código estructural, Artículo A25.5)

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

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$ **30.71** < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *30.71*

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

$\lambda_{máx}$: 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} : *2395.51* kp/cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : *2803.26* kp/cm²

Resistencia a corte Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **1.197 t** ≤ **14.742 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : *1.197* t

$V_{c,Rd}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $V_{c,Rd}$: *29.483* t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

Resistencia a flexión y axil combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \leq 1$$ η : ***0.371*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$ η : ***0.621*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$ η : ***0.451*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N22, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. $N_{c,Ed}$: *9.928* t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valores de cálculo de los momentos solicitantes pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^-$: *3.631* t·m; $M_{z,Ed}^+$: *0.000* t·m

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

$M_{N,Rd,y}$: Momento resistente plástico reducido debido al esfuerzo axil, alrededor del eje Y. $M_{N,Rd,y}$: *9.798* t·m

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

Siendo:

n $= N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}$ **n** : *0.095*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd}$: *104.388* t

$M_{pl,Rd,y}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en régimen plástico, respecto al eje Y. — $M_{pl,Rd,y}$: 9.798 t·m

$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \le 0.5$ — **a** : 0.40

A: Área de la sección bruta. — **A** : 39.10 cm²

b: Ancho total de la sección. — **b** : 12.00 cm

t_f: Espesor del ala. — t_f : 9.80 mm

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.3)

A: Área de la sección bruta. — **A** : 39.10 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. — $W_{pl,y}$: 367.00 cm³; $W_{pl,z}$: 73.90 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : 2803.26 kp/cm²

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} : 1.10

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$ — K_{yz} : 1.05

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$ — K_{zy} : 0.59

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$ — K_{zz} : 1.10

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 : 0.95

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \ge \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ — C_{yy} : 0.99

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ — C_{yz} : 0.74

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ — C_{zy} : 0.92

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \ge \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ — C_{zz} : 0.96

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \ge 0$$ — a_{LT} : 1.00

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ — 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} : 0.52

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ — 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} : 0.48

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \le 1.5$$ — w_y : 1.13

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \le 1.5$$ — w_z : 1.50

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ — n_{pl} : 0.10

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 > 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$ — **0.83** > **0.19**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + (1 - C_{m,y,0}) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$ — $C_{m,y}$: 1.00

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ — $C_{m,z}$: 1.00

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$ — $C_{m,LT}$: 1.08

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$ — ε_y : 3.90

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficientes para la obtención de la distribución uniforme del momento equivalente. — $C_{m,y,0}$: 1.00; $C_{m,z,0}$: 1.00

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — C_1 : 1.00

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — χ_y : 0.98; χ_z : 0.55

χ_{LT}: Coeficiente de reducción para pandeo lateral torsional. — χ_{LT} : 0.78

$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. — $\bar{\lambda}_{máx}$: 1.07

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. — $\bar{\lambda}_y$: 0.29; $\bar{\lambda}_z$: 1.07

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral. — $\bar{\lambda}_{LT}$: 0.83

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral cuando actúa un momento uniforme. — $\bar{\lambda}_0$: 0.83

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $W_{el,y}$: 324.33 cm³; $W_{el,z}$: 47.33 cm³

$N_{cr,y}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Y. — $N_{cr,y}$: 1315.658 t

$N_{cr,z}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Z. — $N_{cr,z}$: 96.004 t

$N_{cr,T}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por torsión. — $N_{cr,T}$: 218.490 t

I_y: Inercia a flexión alrededor del eje Y. — I_y : 3892.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme — I_t : 12.95 cm4

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.10)

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 $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q(1)+0.9·V(0°)H1.

$$\mathbf{V_{Ed,z}} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **1.197 t** ≤ **14.742 t** ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *1.197* t

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *29.483* t

Resistencia a torsión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

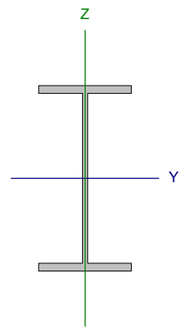
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Barra N12/N15

Perfil: IPE 200
Material: Acero (S275 (UNE-EN 10025-2))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N12	N15	3.236	28.50	1943.00	142.00	6.92

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	0.49	2.53	1.00	1.00
L_K	1.600	8.190	3.236	3.236
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

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Código estructural, Artículo A25.8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{\mathbf{h_w}}{\mathbf{t_w}} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$ **32.68** ≤ **251.55** ✓

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Canto del alma $\mathbf{h_w}$: *183.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *5.60* mm

$\mathbf{A_w}$: Área del alma. $\mathbf{A_w}$: *10.25* cm²

$\mathbf{A_{fc}}$: Área eficaz del ala comprimida. $\mathbf{A_{fc}}$: *8.50* cm²

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

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : *2140673* kp/cm²

$\mathbf{f_{yf}}$: Límite elástico del acero del ala comprimida. $\mathbf{f_{yf}}$: *2803.26* kp/cm²

Siendo:

$f_{yf} = f_y$

Resistencia a tracción (Código Estructural, Artículo A22.6.2.3)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.005** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H1+0.75·N(EI).

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción. **N_{Ed}** : 0.345 t

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: 76.089 t

Donde:

A: Área de la sección transversal. **A** : 28.50 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a compresión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.004** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. **$N_{c,Ed}$** : 0.341 t

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: 76.089 t

Donde:

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

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 28.50 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.1)

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. $\bar{\lambda}$: 1.14

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

$N_{c,Ed}$/N_{cr}: Relación de axiles. **$N_{c,Ed}$/N_{cr}** : 0.006

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 28.50 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr}** : 61.196 t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : 61.196 t

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : 117.192 t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : 113.958 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: Inercia a flexión alrededor del eje Y. **I_y** : 1943.00 cm4

I_z: Inercia a flexión alrededor del eje Z. **I_z** : 142.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme **I_t** : 6.92 cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. **I_w** : 13000.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky}** : 8.190 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz}** : 1.600 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt}** : 3.236 m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i_0** : 8.55 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** : 8.26 cm; **i_z** : 2.23 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

Resistencia a flexión eje Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$ η : **0.192** ✓

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$ η : **0.332** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^+ : 0.646 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(EI).

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^- : 1.132 t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$ $M_{c,Rd}$: 5.900 t·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,y}$: 221.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo lateral: (Código Estructural, Artículo 6.3.2)

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$ $M_{b,Rd}$: 3.413 t·m

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,y}$: 221.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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} : 0.58

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} : 1.23

α_{LT}: Coeficiente de imperfección elástica. α_{LT} : 0.21

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$ $\bar{\lambda}_{LT}$: 1.13

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. M_{cr} : 4.888 t·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: Inercia a flexión alrededor del eje Z. I_z : 142.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme I_t : 6.92 cm4

I_w: Constante de alabeo. I_w : 13000.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : 825688 kp/cm²

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. L_c^+ : 3.236 m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. L_c^- : 3.236 m

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. C_1 : 1.00

C_2: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. C_2 : 1.00

C_3: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. 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 : 0.50

k_w: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra. k_w : 0.50

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 (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.358*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^+ : *0.369* t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^- : *0.426* t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$ $M_{c,Rd}$: *1.191* t·m

Donde:

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

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,z}$: *44.60* cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : *2803.26* kp/cm²

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

Resistencia a corte Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.035*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H2+1.5·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : *0.753* t

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

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $V_{c,Rd}$: *21.604* t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *14.02* cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección transversal. **A** : *28.50* cm²

b: Ancho total de la sección. **b** : *100.00* mm

t_f: Espesor del ala. t_f : *8.50* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *5.60* mm

r: Radio de acuerdo entre ala y alma. **r** : *12.00* mm

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : *2803.26* kp/cm²

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

Abolladura por cortante del alma: (Código estructural, Artículo A25.5)

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

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$ **28.39** < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *28.39*

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

$\lambda_{máx}$: 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} : *2395.51* kp/cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : *2803.26* kp/cm²

Resistencia a corte Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.009*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : *0.258* t

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

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $V_{c,Rd}$: *28.134* t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *18.25* cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *28.50* cm²

d: Altura del alma. **d** : *183.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *5.60* mm

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : *2803.26* kp/cm²

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **0.494 t** ≤ **10.802 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(0°)H1+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : *0.494* t

$V_{c,Rd}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $V_{c,Rd}$: *21.604* t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **0.258 t** ≤ **14.067 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : *0.258* t

$V_{c,Rd}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $V_{c,Rd}$: *28.134* t

Resistencia a flexión y axil combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.9)

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 : ***0.232*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$ η : ***0.552*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$ η : ***0.382*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. $N_{c,Ed}$: *0.341* t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valores de cálculo de los momentos solicitantes pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.
$M_{y,Ed}^{-}$: *1.132* t·m
$M_{z,Ed}^{+}$: *0.232* t·m

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

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Momentos resistentes plásticos reducidos debido al esfuerzo axil, según los ejes Y y Z, respectivamente.
$M_{N,Rd,y}$: *5.900* t·m
$M_{N,Rd,z}$: *1.191* t·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** : *0.004*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd}$: *76.089* t

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.
$M_{pl,Rd,y}$: *5.900* t·m
$M_{pl,Rd,z}$: *1.191* t·m

$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \leq 0.5$ **a** : *0.40*

A: Área de la sección bruta. **A** : *28.50* cm²

b: Ancho total de la sección. **b** : *10.00* cm

t_f: Espesor del ala. t_f : *8.50* mm

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.3)

A: Área de la sección bruta. — **A** : *28.50* 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. — $W_{pl,y}$: *221.00* cm³; $W_{pl,z}$: *44.60* cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : *2803.26* kp/cm²

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} : *1.01*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$ — K_{yz} : *1.09*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$ — K_{zy} : *0.55*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$ — K_{zz} : *1.01*

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*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ — C_{yy} : *0.99*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ — C_{yz} : *0.63*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ — C_{zy} : *0.96*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ — C_{zz} : *1.00*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ — a_{LT} : *1.00*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ — b_{LT} : *0.04*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ — c_{LT} : *0.73*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ — d_{LT} : *0.25*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ — e_{LT} : *1.09*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ — w_y : *1.14*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ — w_z : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ — n_{pl} : *0.00*

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 > 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$ — **1.10** > **0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$ — $C_{m,y}$: *1.00*

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

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$ — $C_{m,LT}$: *1.00*

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$ — ε_y : *42.85*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficientes para la obtención de la distribución uniforme del momento equivalente. — $C_{m,y,0}$: *1.00*; $C_{m,z,0}$: *1.00*

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — 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 para pandeo lateral torsional. — χ_{LT} : *0.58*

$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. — $\bar{\lambda}_{máx}$: *1.14*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. — $\bar{\lambda}_y$: *1.14*; $\bar{\lambda}_z$: *0.83*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral. — $\bar{\lambda}_{LT}$: *1.13*

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral cuando actúa un momento uniforme. — $\bar{\lambda}_0$: *1.10*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $W_{el,y}$: *194.30* cm³; $W_{el,z}$: *28.40* cm³

$N_{cr,y}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Y. — $N_{cr,y}$: *61.196* t

$N_{cr,z}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Z. — $N_{cr,z}$: *117.192* t

$N_{cr,T}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por torsión. — $N_{cr,T}$: *113.958* t

I_y: Inercia a flexión alrededor del eje Y. — I_y : *1943.00* cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme — I_t : *6.92* cm4

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.10)

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 $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(0°)H1+0.75·N(EI).

$$\mathbf{V_{Ed,z}} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \qquad \mathbf{0.494\ t} \leq \mathbf{10.802\ t}$$

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *0.494* t

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *21.604* t

Resistencia a torsión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

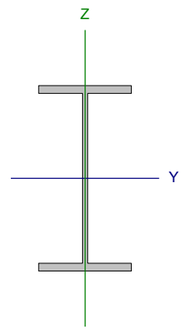
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Barra N4/N16

Perfil: IPE 200
Material: Acero (S275 (UNE-EN 10025-2))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N4	N16	3.236	28.50	1943.00	142.00	6.92

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	0.49	2.53	1.00	1.00
L_K	1.600	8.190	3.236	3.236
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

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Código estructural, Artículo A25.8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{\mathbf{h_w}}{\mathbf{t_w}} \leq k\frac{E}{f_{yf}}\sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} \qquad \mathbf{32.68} \leq \mathbf{251.55}$$

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Canto del alma $\mathbf{h_w}$: *183.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *5.60* mm

$\mathbf{A_w}$: Área del alma. $\mathbf{A_w}$: *10.25* cm²

$\mathbf{A_{fc}}$: Área eficaz del ala comprimida. $\mathbf{A_{fc}}$: *8.50* cm²

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

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : *2140673* kp/cm²

$\mathbf{f_{yf}}$: Límite elástico del acero del ala comprimida. $\mathbf{f_{yf}}$: *2803.26* kp/cm²

Siendo:

$f_{yf} = f_y$

Resistencia a tracción (Código Estructural, Artículo A22.6.2.3)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.005** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1+0.75·N(EI).

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción. N_{Ed} : 0.345 t

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: 76.089 t

Donde:

A: Área de la sección transversal. **A** : 28.50 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a compresión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.004** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. $N_{c,Ed}$: 0.341 t

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: 76.089 t

Donde:

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

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 28.50 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.1)

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. $\bar{\lambda}$: 1.14

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

$N_{c,Ed}$/N_{cr}: Relación de axiles. $N_{c,Ed}/N_{cr}$: 0.006

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 28.50 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. N_{cr} : 61.196 t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: 61.196 t

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: 117.192 t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: 113.958 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: Inercia a flexión alrededor del eje Y. I_y : 1943.00 cm4

I_z: Inercia a flexión alrededor del eje Z. I_z : 142.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme I_t : 6.92 cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : 13000.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. L_{ky} : 8.190 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. L_{kz} : 1.600 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. L_{kt} : 3.236 m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. i_0 : 8.55 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 : 8.26 cm; i_z : 2.23 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

Resistencia a flexión eje Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$ η : **0.192** ✓

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$ η : **0.332** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^+ : 0.646 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(EI).

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^- : 1.132 t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$ $M_{c,Rd}$: 5.900 t·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,y}$: 221.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo lateral: (Código Estructural, Artículo 6.3.2)

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$ $M_{b,Rd}$: 3.413 t·m

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,y}$: 221.00 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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} : 0.58

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} : 1.23

α_{LT}: Coeficiente de imperfección elástica. α_{LT} : 0.21

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$ $\bar{\lambda}_{LT}$: 1.13

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. M_{cr} : 4.888 t·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: Inercia a flexión alrededor del eje Z. I_z : 142.00 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme I_t : 6.92 cm4

I_w: Constante de alabeo. I_w : 13000.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : 825688 kp/cm²

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. L_c^+ : 3.236 m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. L_c^- : 3.236 m

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. C_1 : 1.00

C_2: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. C_2 : 1.00

C_3: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. 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 : 0.50

k_w: Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra. k_w : 0.50

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 (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.358*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$\mathbf{M_{Ed}^+}$: Valor de cálculo del momento flector. $\mathbf{M_{Ed}^+}$: *0.426* t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

$\mathbf{M_{Ed}^-}$: Valor de cálculo del momento flector. $\mathbf{M_{Ed}^-}$: *0.369* t·m

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

$$\mathbf{M_{c,Rd}} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$ $\mathbf{M_{c,Rd}}$: *1.191* t·m

Donde:

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

$\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulo resistente plástico de la sección. $\mathbf{W_{pl,z}}$: *44.60* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2803.26* kp/cm²

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

Resistencia a corte Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.035*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H2+1.5·N(EI).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.753* t

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

$$\mathbf{V_{c,Rd}} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *21.604* t

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: *14.02* cm²

$$\mathbf{A_V} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A: Área de la sección transversal. **A** : *28.50* cm²

b: Ancho total de la sección. **b** : *100.00* mm

$\mathbf{t_f}$: Espesor del ala. $\mathbf{t_f}$: *8.50* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *5.60* mm

r: Radio de acuerdo entre ala y alma. **r** : *12.00* mm

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2803.26* kp/cm²

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

Abolladura por cortante del alma: (Código estructural, Artículo A25.5)

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

$$\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{t_w}} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$ **28.39** < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *28.39*

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

$\lambda_{máx}$: 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:

$\mathbf{f_{ref}}$: Límite elástico de referencia. $\mathbf{f_{ref}}$: *2395.51* kp/cm²

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2803.26* kp/cm²

Resistencia a corte Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$ η : **0.009** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : 0.258 t

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

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $V_{c,Rd}$: 28.134 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : 18.25 cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : 28.50 cm²

d: Altura del alma. **d** : 183.00 mm

t_w: Espesor del alma. t_w : 5.60 mm

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **0.494 t** ≤ **10.802 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(0°)H1+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : 0.494 t

$V_{c,Rd}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $V_{c,Rd}$: 21.604 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **0.258 t** ≤ **14.067 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : 0.258 t

$V_{c,Rd}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $V_{c,Rd}$: 28.134 t

Resistencia a flexión y axil combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.9)

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 : **0.232** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$ η : **0.552** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$ η : **0.382** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. $N_{c,Ed}$: 0.341 t

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valores de cálculo de los momentos solicitantes pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{y,Ed}^{-}$: 1.132 t·m; $M_{z,Ed}^{-}$: 0.232 t·m

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

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Momentos resistentes plásticos reducidos debido al esfuerzo axil, según los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{N,Rd,y}$: 5.900 t·m; $M_{N,Rd,z}$: 1.191 t·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** : 0.004

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $N_{pl,Rd}$: 76.089 t

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. $M_{pl,Rd,y}$: 5.900 t·m; $M_{pl,Rd,z}$: 1.191 t·m

$a = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \leq 0.5$ **a** : 0.40

A: Área de la sección bruta. **A** : 28.50 cm²

b: Ancho total de la sección. **b** : 10.00 cm

t_f: Espesor del ala. t_f : 8.50 mm

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.3)

A: Área de la sección bruta. — **A** : *28.50* 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. — $W_{pl,y}$: *221.00* cm³ ; $W_{pl,z}$: *44.60* cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) — f_y : *2803.26* kp/cm²

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} : *1.01*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$ K_{yz} : *1.09*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$ K_{zy} : *0.55*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$ K_{zz} : *1.01*

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*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ C_{yy} : *0.99*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ C_{yz} : *0.63*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ C_{zy} : *0.96*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ C_{zz} : *1.00*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ a_{LT} : *1.00*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ b_{LT} : *0.04*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ c_{LT} : *0.73*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ d_{LT} : *0.25*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ e_{LT} : *1.09*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ w_y : *1.14*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ w_z : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ n_{pl} : *0.00*

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 > 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$ **1.10** > **0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$ $C_{m,y}$: *1.00*

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

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$ $C_{m,LT}$: *1.00*

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$ ε_y : *42.85*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficientes para la obtención de la distribución uniforme del momento equivalente. — $C_{m,y,0}$: *1.00* ; $C_{m,z,0}$: *1.00*

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. — 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 para pandeo lateral torsional. — χ_{LT} : *0.58*

$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. — $\bar{\lambda}_{máx}$: *1.14*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. — $\bar{\lambda}_y$: *1.14* ; $\bar{\lambda}_z$: *0.83*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral. — $\bar{\lambda}_{LT}$: *1.13*

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral cuando actúa un momento uniforme. — $\bar{\lambda}_0$: *1.10*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $W_{el,y}$: *194.30* cm³ ; $W_{el,z}$: *28.40* cm³

$N_{cr,y}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Y. — $N_{cr,y}$: *61.196* t

$N_{cr,z}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Z. — $N_{cr,z}$: *117.192* t

$N_{cr,T}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por torsión. — $N_{cr,T}$: *113.958* t

I_y: Inercia a flexión alrededor del eje Y. — I_y : *1943.00* cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme — I_t : *6.92* cm4

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.10)

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 $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(0°)H1+0.75·N(EI).

$$\mathbf{V_{Ed,z}} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \qquad \mathbf{0.494\ t} \leq \mathbf{10.802\ t}$$

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *0.494* t

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *21.604* t

Resistencia a torsión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

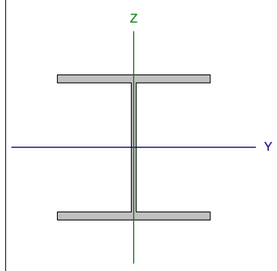
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Barra N7/N8

Perfil: HE 180 A
Material: Acero (S275 (UNE-EN 10025-2))



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y (1) (cm4)	I_z (1) (cm4)	I_t (2) (cm4)
N7	N8	2.540	45.30	2510.00	924.60	14.89

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	2.540	5.080	2.540	2.540
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

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Código estructural, Artículo A25.8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{\mathbf{h_w}}{\mathbf{t_w}} \leq k\frac{E}{f_{yf}}\sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} \qquad \mathbf{25.33} \leq \mathbf{167.30}$$

Donde:

$\mathbf{h_w}$: Canto del alma $\mathbf{h_w}$: *152.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *6.00* mm

$\mathbf{A_w}$: Área del alma. $\mathbf{A_w}$: *9.12* cm²

$\mathbf{A_{fc}}$: Área eficaz del ala comprimida. $\mathbf{A_{fc}}$: *17.10* cm²

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

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : *2140673* kp/cm²

$\mathbf{f_{yf}}$: Límite elástico del acero del ala comprimida. $\mathbf{f_{yf}}$: *2803.26* kp/cm²

Siendo:

$f_{yf} = f_y$

Resistencia a tracción (Código Estructural, Artículo A22.6.2.3)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.006** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H1.

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción. N_{Ed} : 0.673 t

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: 120.941 t

Donde:

A: Área de la sección transversal. **A** : 45.30 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a compresión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.030** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. $N_{c,Ed}$: 3.584 t

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: 120.941 t

Donde:

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

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 45.30 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.1)

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. $\bar{\lambda}$: 0.79

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

$N_{c,Ed}$/N_{cr}: Relación de axiles. $N_{c,Ed}/N_{cr}$: 0.017

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 45.30 cm²

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. N_{cr} : 205.493 t

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: 205.493 t

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: 302.786 t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: 422.216 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: Inercia a flexión alrededor del eje Y. I_y : 2510.00 cm4

I_z: Inercia a flexión alrededor del eje Z. I_z : 924.60 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme I_t : 14.89 cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : 60210.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. L_{ky} : 5.080 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. L_{kz} : 2.540 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. L_{kt} : 2.540 m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. i_0 : 8.71 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 : 7.44 cm; i_z : 4.52 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

Resistencia a flexión eje Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.520** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H1.

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^+ : 0.905 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(0°)H1+0.75·N(EI).

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^- : 4.509 t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 8.674 t·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,y}$: 324.90 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a pandeo lateral: (Código Estructural, Artículo 6.3.2)

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.

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.54

M_{Ed} / M_{cr}: Relación de momentos. M_{Ed}^+ / M_{cr}^+ : 0.029

M_{Ed}^- / M_{cr}^- : 0.145

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,y}$: 324.90 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral. M_{cr} : 31.133 t·m

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

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

Siendo:

I_z: Inercia a flexión alrededor del eje Z. I_z : 924.60 cm4

I_t: Módulo de torsión uniforme I_t : 14.89 cm4

I_w: Constante de alabeo. I_w : 60210.00 cm6

E: Módulo de elasticidad longitudinal. **E** : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : 825688 kp/cm²

L_c^+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. L_c^+ : 2.540 m

L_c^-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. L_c^- : 2.540 m

C_1: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. C_1 : 1.00

C_2: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. C_2 : 1.00

C_3: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. 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 (Código Estructural, Artículo A22.6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

η : **0.001** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q1+0.9·V(90°)H1.

M_{Ed}^+: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^+ : 0.004 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q2+0.9·V(270°)H1.

M_{Ed}^-: Valor de cálculo del momento flector. M_{Ed}^- : 0.005 t·m

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

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 4.178 t·m

Donde:

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

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico de la sección. $W_{pl,z}$: 156.50 cm³

f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) f_y : 2803.26 kp/cm²

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

Resistencia a corte Z (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$ η : **0.086** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(0°)H1+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : 1.921 t

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

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $V_{c,Rd}$: 22.381 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : 14.52 cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección transversal. **A** : 45.30 cm²
b: Ancho total de la sección. **b** : 180.00 mm
t_f: Espesor del ala. **t_f** : 9.50 mm
t_w: Espesor del alma. **t_w** : 6.00 mm
r: Radio de acuerdo entre ala y alma. **r** : 15.00 mm
f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (Código estructural, Artículo A25.5)

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

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$ **20.33** < **55.46** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : 20.33

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

$\lambda_{máx}$: 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}** : 2395.51 kp/cm²
f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a corte Y (Código Estructural, Artículo A22.6.2.6)

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 0.8·PP+1.5·Q2+0.9·V(270°)H1.

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. V_{Ed} : 0.002 t

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

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $V_{c,Rd}$: 55.768 t

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : 36.18 cm²

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

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : 45.30 cm²
d: Altura del alma. **d** : 152.00 mm
t_w: Espesor del alma. **t_w** : 6.00 mm
f_y: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : 1.05

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **1.897 t** ≤ **11.191 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.212 m del nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(0°)H1+0.75·N(EI).

V_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. **V_{Ed}** : 1.897 t
$V_{c,Rd}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. **$V_{c,Rd}$** : 22.381 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.8)

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

$$\mathbf{V_{Ed}} \le \frac{\mathbf{V_{c,Rd}}}{2}$$ **0.002 t ≤ 27.884 t** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.212 m del nudo N7, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·Q2+0.9·V(270°)H1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.002* t

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *55.768* t

Resistencia a flexión y axil combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \le 1$$ η : ***0.520*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$ η : ***0.552*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$ η : ***0.298*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(0°)H1+0.75·N(EI).

Donde:

$\mathbf{N_{c,Ed}}$: Valor de cálculo de la fuerza de compresión. $\mathbf{N_{c,Ed}}$: *2.880* t

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Valores de cálculo de los momentos solicitantes pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{M_{y,Ed}^-}$: *4.509* t·m; $\mathbf{M_{z,Ed}^+}$: *0.000* t·m

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

$\mathbf{M_{N,Rd,y}}$: Momento resistente plástico reducido debido al esfuerzo axil, alrededor del eje Y. $\mathbf{M_{N,Rd,y}}$: *8.674* t·m

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

Siendo:

$\mathbf{n} = N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}$ **n** : *0.024*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. $\mathbf{N_{pl,Rd}}$: *120.941* t

$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en régimen plástico, respecto al eje Y. $\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: *8.674* t·m

$\mathbf{a} = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \le 0.5$ **a** : *0.25*

A: Área de la sección bruta. **A** : *45.30* cm²

b: Ancho total de la sección. **b** : *18.00* cm

$\mathbf{t_f}$: Espesor del ala. $\mathbf{t_f}$: *9.50* mm

Resistencia a pandeo: (Código Estructural, Artículo 6.3.3)

A: Área de la sección bruta. **A** : *45.30* cm²

$\mathbf{W_{pl,y}}$, $\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra con mayor tensión, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *324.90* cm³; $\mathbf{W_{pl,z}}$: *156.50* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (Código Estructural, Tabla A22.3.1) $\mathbf{f_y}$: *2803.26* kp/cm²

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

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

$$\mathbf{k_{yy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$ $\mathbf{K_{yy}}$: *1.02*

$$\mathbf{k_{yz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$ $\mathbf{K_{yz}}$: *0.82*

$$\mathbf{k_{zy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$ $\mathbf{K_{zy}}$: *0.53*

$$\mathbf{k_{zz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$ $\mathbf{K_{zz}}$: *1.02*

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*

$$\mathbf{C_{yy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2\right) \cdot n_{pl} - b_{LT}\right] \ge \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ $\mathbf{C_{yy}}$: *1.00*

$$\mathbf{C_{yz}} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right) \cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ $\mathbf{C_{yz}}$: *0.86*

$$\mathbf{C_{zy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right) \cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ $\mathbf{C_{zy}}$: *0.99*

$$\mathbf{C_{zz}} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right) \cdot n_{pl}\right] \ge \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ $\mathbf{C_{zz}}$: *0.99*

$$\mathbf{a_{LT}} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \ge 0$$ $\mathbf{a_{LT}}$: *0.99*

$$\mathbf{b_{LT}} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ $\mathbf{b_{LT}}$: *0.00*

$$\mathbf{c_{LT}} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ $\mathbf{c_{LT}}$: *0.29*

$$\mathbf{d_{LT}} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ $\mathbf{d_{LT}}$: *0.00*

$$\mathbf{e_{LT}} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ $\mathbf{e_{LT}}$: *1.72*

$$\mathbf{w_y} = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ $\mathbf{w_y}$: *1.11*

$$\mathbf{w_z} = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ $\mathbf{w_z}$: *1.50*

$$\mathbf{n_{pl}} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ $\mathbf{n_{pl}}$: *0.02*

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 > 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$ **0.54** > **0.20**

$$\mathbf{C_{m,y}} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$ $\mathbf{C_{m,y}}$: *1.00*

$$\mathbf{C_{m,z}} = C_{m,z,0}$$ $\mathbf{C_{m,z}}$: *1.00*

$$\mathbf{C_{m,LT}} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$ $\mathbf{C_{m,LT}}$: *1.00*

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$ ε_y : *21.83*

$\mathbf{C_{m,y,0}}$, $\mathbf{C_{m,z,0}}$: Coeficientes para la obtención de la distribución uniforme del momento equivalente. $\mathbf{C_{m,y,0}}$: *1.00* $\mathbf{C_{m,z,0}}$: *1.00*

$\mathbf{C_1}$: Coeficiente que depende de la carga y de las condiciones de vinculación de los extremos. $\mathbf{C_1}$: *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 para pandeo lateral torsional. χ_{LT} : *1.00*

$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. $\bar{\lambda}_{máx}$: *0.79*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y$: *0.79* $\bar{\lambda}_z$: *0.65*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral. $\bar{\lambda}_{LT}$: *0.54*

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez adimensional de pandeo lateral cuando actúa un momento uniforme. $\bar{\lambda}_0$: *0.54*

$\mathbf{W_{el,y}}$, $\mathbf{W_{el,z}}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\mathbf{W_{el,y}}$: *293.57* cm³ $\mathbf{W_{el,z}}$: *102.73* cm³

$\mathbf{N_{cr,y}}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Y. $\mathbf{N_{cr,y}}$: *205.493* t

$\mathbf{N_{cr,z}}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por flexión alrededor del eje Z. $\mathbf{N_{cr,z}}$: *302.786* t

$\mathbf{N_{cr,T}}$: Esfuerzo axil crítico elástico por pandeo por torsión. $\mathbf{N_{cr,T}}$: *422.216* t

$\mathbf{I_y}$: Inercia a flexión alrededor del eje Y. $\mathbf{I_y}$: *2510.00* cm4

$\mathbf{I_t}$: Módulo de torsión uniforme $\mathbf{I_t}$: *14.89* cm4

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.10)

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 $\mathbf{V_{Ed}}$ es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.212 m del nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q(1)+1.5·Qp+0.9·V(0°)H1+0.75·N(EI).

$$\mathbf{V_{Ed,z}} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **1.897 t** ≤ **11.191 t** ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Valor de cálculo del esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{Ed,z}}$: *1.897* t

$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Valor de cálculo de la resistencia a esfuerzo cortante. $\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: *22.381* t

Resistencia a torsión (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Código Estructural, Artículo A22.6.2.7)

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

MODELO DE CORREA

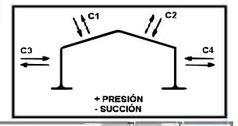
Z-150x2.5

OBRA	nau bombes
FECHA	
CONCEPTO	corretges de coberta

DISTANCIA ENTRE CORREAS (mm): 1600

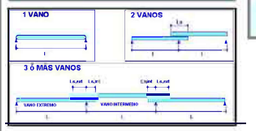
Nota: En la Configuración Regional del ordenador se debe especificar el punto '.' como símbolo decimal.

PENDIENTE DE LA CUBIERTA (%): 15



NÚMERO DE VANOS

1 VANO



CORREA DE FACHADA O CUBIERTA

CUBIERTA

CHAPA DE CUBRICIÓN

DISTANCIA TORNILLO DE FIJACIÓN CHAPA-CORREA AL ALMA DE LA CORREA (mm): 35

LÍMITE ELÁSTICO CORREA (N/mm²): 255

LÍMITE ELÁSTICO CHAPA (N/mm²): 235

LONGITUD DE LOS VANOS (mm): 4700

CHAPA DE CUBRICIÓN 1_VANO/CONTINUA

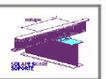
CONTINUA

MODELO DE CHAPA DE CUBRICIÓN

PERFIL 40/250, Esp. 0.5

Peso chapa + aislamiento (Kp/m²)	25
Sobrecarga instalaciones (Kp/m²)	20
Sobrecarga de nieve (Kp/m²)	54
Sobrecarga de viento (Kp/m²)	60
C1. Coef.eólico de barlovento (cubierta)	0.2
C2. Coef.eólico de sotavento (cubierta) (<=0)	-0.8
C3. Coef.eólico de presión (fachada) (>=0)	0.8
C4. Coef.eólico de succión (fachada) (<=0)	-0.4
Flecha máxima (Long.Vano / δ), δ =	250

LONGITUDES DE SOLAPE (mm)



CORREA DE DOS VANOS : ~~0.00~~

CORREA DE TRES VANOS (VANO EXTREMO): ~~1250.00~~

CORREA DE TRES VANOS (VANO INTERMEDIO): ~~1250.00~~

RATIO $M_{UNIÓN}$ / $M_{1\ PERFIL}$ (%): 150

NÚMERO DE TORNAPUNTAS POR VANO

ARR.CONTINUO

VANO A COMPROBAR (PARA CASOS DE 3 VANOS)

~~EXTREMO~~

RESULTADOS OBTENIDOS

LA CORREA SELECCIONADA CUMPLE LAS COMPROBACIONES DE SEGURIDAD, CON UNOS RATIOS DE TRABAJO DEL 99% RESPECTO AL ELU Y DEL 94% RESPECTO AL ELS.

Peso propio correa (con solapes) :	5.05	kg/m.l.
Sección bruta :	677.5	mm²
Mom. Inercia eje fuerte principal (Iy):	2467429	mm⁴
Mom. Inercia eje débil principal (Iz):	153854	mm⁴
Módulo resistente eje fuerte ppal (Wy):	28773	mm³
Módulo resistente eje débil ppal (Wz):	7187	mm³
Módulo de alabeo :	1339068235	mm⁶
Inclinación direc. principales (Zeta):	16.96	º
Ifz (ala inferior + 1/6 altura) :	56140	mm⁴
Wfz (ala inferior + 1/6 altura) :	2098	mm³
ifz (ala inferior + 1/6 altura) :	17.07	mm
Sección eficaz a compresión (Aeff) :	559	mm²
Mom. Inercia eficaz eje fuerte (Iy,eff):	2414309	mm⁴
Módulo resist. eficaz eje fuerte (Wy,eff)	28581	mm³
Centro de torsión (respecto al punto medio del alma), mm		
Coordenada U = 6.0	Coordenada V=	22.63

Verificación paramétrica de las correas tipo **Z** y **C** utilizadas en los cerramientos de cubierta y fachada. Análisis según la norma europea Eurocódigo-3 Parte 1-3 ENV 1993-1-3 "Design of steel structures. Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting" (versión CEN 1996)

ÍNDICE

1.- DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA 2

2.- NORMAS CONSIDERADAS 2

3.- ACCIONES CONSIDERADAS 2
- **3.1.- Gravitatorias** 2
- **3.2.- Viento** 2
- **3.3.- Sismo** 2
- **3.4.- Hipótesis de carga** 3
- **3.5.- Empujes en muros** 3
- **3.6.- Listado de cargas** 3

4.- ESTADOS LÍMITE 4

5.- SITUACIONES DE PROYECTO 4
- **5.1.- Coeficientes parciales de seguridad (γ) y coeficientes de combinación (ψ)** 5

6.- DATOS GEOMÉTRICOS DE GRUPOS Y PLANTAS 7

7.- DATOS GEOMÉTRICOS DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS 7
- **7.1.- Muros** 7

8.- LOSAS Y ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN 8

9.- MATERIALES UTILIZADOS 8
- **9.1.- Hormigones** 8
- **9.2.- Aceros por elemento y posición** 9
  - 9.2.1.- Aceros en barras 9
  - 9.2.2.- Aceros en perfiles 9

1.- DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA

Proyecto: mur nau 6.4x9.4
Clave: murs nau bombes_exportada_2

2.- NORMAS CONSIDERADAS

Hormigón: EHE-08
Aceros conformados: EAE 2011
Aceros laminados y armados: EAE 2011

Categorías de uso

A. Zonas residenciales
H. Cubiertas

3.- ACCIONES CONSIDERADAS

3.1.- Gravitatorias

Planta	Sobrecarga de uso		Cargas muertas (t/m²)
	Categoría	Valor (t/m²)	
cap del mur	H	0.25	0.10
Cimentación	A	0.25	0.10

3.2.- Viento

Se ha tenido en cuenta la acción del viento mediante cargas aplicadas en las siguientes hipótesis: 'V(0°) H1', 'V(90°) H1', 'V(180°) H1', 'V(180°) H2' y 'V(270°) H1'.

3.3.- Sismo

Sin acción de sismo

3.4.- Hipótesis de carga

Automáticas	Peso propio Cargas muertas Sobrecarga (Uso A) Sobrecarga (Uso H)		
Adicionales	Referencia	Descripción	Naturaleza
	H 1 terreny		Empujes del terreno
	Q (H)	Sobrecarga de uso	Sobrecarga (Uso H)
	Q 1 (H)	Q 1	Sobrecarga (Uso H)
	Q 2 (H)	Q 2	Sobrecarga (Uso H)
	V(0°) H1	Viento a 0° sin acción en el interior	Viento
	V(90°) H1	Viento a 90°, presion exterior tipo 1 sin acción en el interior	Viento
	V(180°) H1	Viento a 180°, presion exterior tipo 1 sin acción en el interior	Viento
	V(180°) H2	Viento a 180°, presion exterior tipo 2 sin acción en el interior	Viento
	V(270°) H1	Viento a 270°, presion exterior tipo 1 sin acción en el interior	Viento
	N(EI)	Nieve (estado inicial)	Nieve
	N(R)	Nieve (redistribución)	Nieve

3.5.- Empujes en muros

Empenta terreny
Una situación de relleno
Carga:H 1 terreny
Con relleno: Cota 0.00 m
Ángulo de talud 0.00 Grados
Densidad aparente 1.90 t/m³
Densidad sumergida 0.95 t/m³
Ángulo rozamiento interno 18.00 Grados
Evacuación por drenaje 100.00 %
Carga 1:
Tipo: Uniforme
Valor: 1.00 t/m²

3.6.- Listado de cargas

Cargas especiales introducidas (en t, t/m y t/m²)

Grupo	Hipótesis	Tipo	Valor	Coordenadas
Cimentación	Cargas muertas	Superficial	2.00	(0.15,6.25) (0.15,0.15) (9.25,0.15) (9.25,6.25)

4.- ESTADOS LÍMITE

E.L.U. de rotura. Hormigón E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones E.L.S. Fisuración. Hormigón en cimentaciones	CTE Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
E.L.U. de rotura. Acero laminado	EAE Nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
Tensiones sobre el terreno Desplazamientos	Acciones características

5.- SITUACIONES DE PROYECTO

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{Gj}G_{kj}+\gamma_P P_k+\gamma_{Q1}\Psi_{p1}Q_{k1}+\sum_{i>1}\gamma_{Qi}\Psi_{ai}Q_{ki}$$

- Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{Gj}G_{kj}+\gamma_P P_k+\sum_{i\geq 1}\gamma_{Qi}Q_{ki}$$

- Donde:

G_k Acción permanente
P_k Acción de pretensado
Q_k Acción variable
γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes
γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado
$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal
$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento
$\psi_{p,1}$ Coeficiente de combinación de la acción variable principal
$\psi_{a,i}$ Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento

5.1.- Coeficientes parciales de seguridad (γ) y coeficientes de combinación (ψ)

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

E.L.U. de rotura. Hormigón: EHE-08

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.350	-	-
Sobrecarga (Q - Uso A)	0.000	1.500	1.000	0.700
Sobrecarga (Q - Uso H)	0.000	1.500	1.000	0.700
Viento (Q)	0.000	1.500	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.500	1.000	0.500
Empujes del terreno (H)	1.000	1.350	-	-

E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones: EHE-08 / CTE DB-SE C

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.600	-	-
Sobrecarga (Q - Uso A)	0.000	1.600	1.000	0.700
Sobrecarga (Q - Uso H)	0.000	1.600	1.000	0.700
Viento (Q)	0.000	1.600	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.600	1.000	0.500
Empujes del terreno (H)	1.000	1.600	-	-

E.L.S. Fisuración. Hormigón en cimentaciones: EHE-08

Cuasipermanente				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso A)	0.000	1.000	0.300	0.300
Sobrecarga (Q - Uso H)	0.000	1.000	0.300	0.300
Viento (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Empujes del terreno (H)	1.000	1.000	-	-

E.L.U. de rotura. Acero laminado: EAE 2011

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.350	-	-
Sobrecarga (Q - Uso A)	0.000	1.500	1.000	0.700
Sobrecarga (Q - Uso H)	0.000	1.500	1.000	0.000
Viento (Q)	0.000	1.500	1.000	0.600
Nieve (Q)	0.000	1.500	1.000	0.500
Empujes del terreno (H)	1.000	1.350	-	-

Tensiones sobre el terreno

Característica				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso A)	0.000	1.000	1.000	1.000
Sobrecarga (Q - Uso H)	0.000	1.000	1.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Empujes del terreno (H)	1.000	1.000	-	-

Desplazamientos

	Característica			
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q - Uso A)	0.000	1.000	1.000	1.000
Sobrecarga (Q - Uso H)	0.000	1.000	1.000	1.000
Viento (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Nieve (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Empujes del terreno (H)	1.000	1.000	-	-

6.- DATOS GEOMÉTRICOS DE GRUPOS Y PLANTAS

Grupo	Nombre del grupo	Planta	Nombre planta	Altura	Cota
1	cap del mur	1	cap del mur	2.00	0.00
0	Cimentación				-2.00

7.- DATOS GEOMÉTRICOS DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS

7.1.- Muros

- Las coordenadas de los vértices inicial y final son absolutas.
- Las dimensiones están expresadas en metros.

Datos geométricos del muro

Referencia	Tipo muro	GI- GF	Vértices Inicial	Vértices Final	Planta	Dimensiones Izquierda+Derecha=Total
M2	Muro de hormigón armado	0-1	(0.00, 6.40)	(9.40, 6.40)	1	0.15+0.15=0.3
M1	Muro de hormigón armado	0-1	(0.00, 0.00)	(9.40, 0.00)	1	0.15+0.15=0.3
M3	Muro de hormigón armado	0-1	(0.00, 0.00)	(0.00, 6.40)	1	0.15+0.15=0.3
M4	Muro de hormigón armado	0-1	(9.40, 0.00)	(9.40, 6.40)	1	0.15+0.15=0.3

Empujes y zapata del muro

Referencia	Empujes	Zapata del muro
M2	Empuje izquierdo: Empenta terreny Empuje derecho: Sin empujes	Viga de cimentación: 0.300 x 0.250 Vuelos: izq.:0.00 der.:0.00 canto:0.25 Tensiones admisibles -Situaciones persistentes: 2.00 kp/cm² -Situaciones accidentales: 3.00 kp/cm² Módulo de balasto: 8000.00 t/m³
M1	Empuje izquierdo: Sin empujes Empuje derecho: Empenta terreny	Viga de cimentación: 0.300 x 0.250 Vuelos: izq.:0.00 der.:0.00 canto:0.25 Tensiones admisibles -Situaciones persistentes: 2.00 kp/cm² -Situaciones accidentales: 3.00 kp/cm² Módulo de balasto: 8000.00 t/m³
M3	Empuje izquierdo: Empenta terreny Empuje derecho: Sin empujes	Viga de cimentación: 0.300 x 0.250 Vuelos: izq.:0.00 der.:0.00 canto:0.25 Tensiones admisibles -Situaciones persistentes: 2.00 kp/cm² -Situaciones accidentales: 3.00 kp/cm² Módulo de balasto: 8000.00 t/m³
M4	Empuje izquierdo: Sin empujes Empuje derecho: Empenta terreny	Viga de cimentación: 0.300 x 0.250 Vuelos: izq.:0.00 der.:0.00 canto:0.25 Tensiones admisibles -Situaciones persistentes: 2.00 kp/cm² -Situaciones accidentales: 3.00 kp/cm² Módulo de balasto: 8000.00 t/m³

8.- LOSAS Y ELEMENTOS DE CIMENTACIÓN

Losas cimentación	Canto (cm)	Módulo balasto (t/m³)	Tensión admisible en situaciones persistentes (kp/cm²)	Tensión admisible en situaciones accidentales (kp/cm²)
Todas	25	8000.00	2.00	3.00

9.- MATERIALES UTILIZADOS

9.1.- Hormigones

Elemento	Hormigón	f_{ck} (kp/cm²)	γ_c	Árido		E_c (kp/cm²)
				Naturaleza	Tamaño máximo (mm)	
Todos	HA-30	306	1.50	Cuarcita	15	291305

9.2.- Aceros por elemento y posición

9.2.1.- Aceros en barras

Elemento	Acero	f_{yk} (kp/cm²)	γ_s
Todos	B 500 S	5097	1.15

9.2.2.- Aceros en perfiles

Tipo de acero para perfiles	Acero	Límite elástico (kp/cm²)	Módulo de elasticidad (kp/cm²)
Acero conformado	S 275	2803	2140673
Acero laminado	S275 (EAE)	2803	2140673

Tensiones del terreno bajo vigas de cimentación

Cimentación

Tensión admisible en situaciones persistentes: 2.00 kp/cm²
Tensión admisible en situaciones accidentales: 3.00 kp/cm²

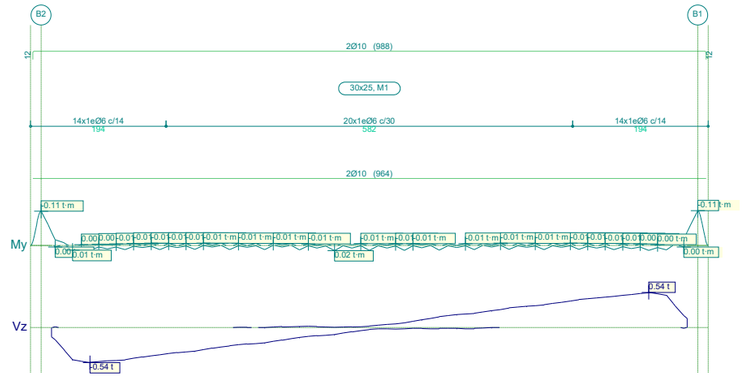
Situaciones persistentes o transitorias					
Viga			Tensión media (kp/cm²)	Tensión en bordes (kp/cm²)	Estado
Pórtico	Tramo	Dimensión			
1	B2-B1	M1: 30x25	0.37	0.38	Cumple
2	M3-B0	M2: 30x25	0.33	0.36	Cumple
3	B2-M2	M3: 30x25	0.37	0.37	Cumple
4	B1-B0	M4: 30x25	0.37	0.37	Cumple

ÍNDICE

1.- CIMENTACIÓN 2
- **1.1.- Pórtico 1** 2
- **1.2.- Pórtico 2** 3
- **1.3.- Pórtico 3** 5
- **1.4.- Pórtico 4** 7

1.- CIMENTACIÓN

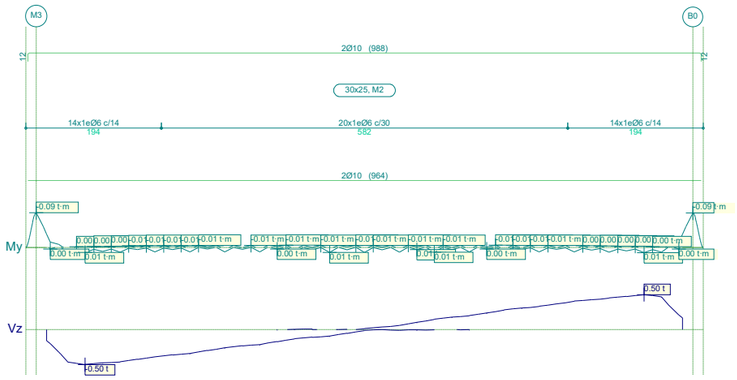
1.1.- Pórtico 1



Pórtico 1		Tramo: B2-B1		
Sección		**30x25**		
Zona		**1/3L**	**2/3L**	**3/3L**
Momento mín.	[t·m]	**--**	**--**	**--**
x	[m]	--	--	--
Momento máx.	[t·m]	**--**	**--**	**--**
x	[m]	--	--	--
Cortante mín.	[t]	**-0.54**	**-0.23**	**-0.01**
x	[m]	0.55	3.05	9.05
Cortante máx.	[t]	**0.01**	**0.22**	**0.54**
x	[m]	0.05	6.05	8.55
Torsor mín.	[t]	**--**	**--**	**--**
x	[m]	--	--	--

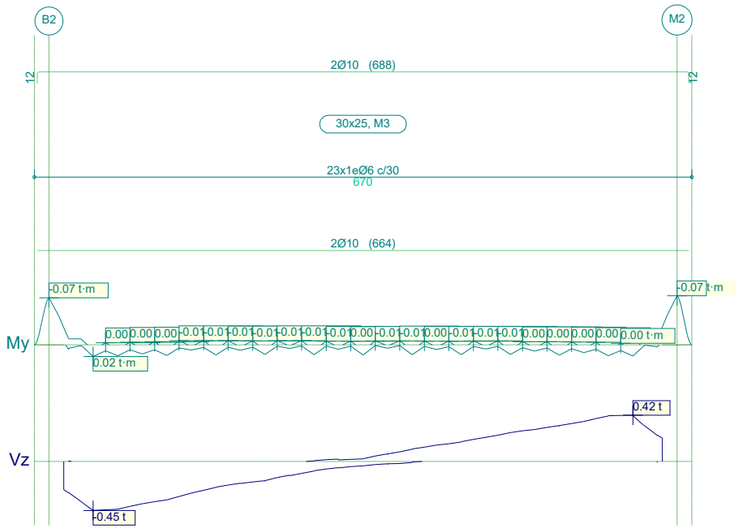
Pórtico 1			Tramo: B2-B1		
Sección			30x25		
Zona			1/3L	2/3L	3/3L
Torsor máx.	[t]		--	--	--
x	[m]		--	--	--
Área Sup.	[cm²]	Real	1.57	1.57	1.57
		Nec.	0.00	0.00	0.00
Área Inf.	[cm²]	Real	1.57	1.57	1.57
		Nec.	0.00	0.00	0.00
Área Transv.	[cm²/m]	Real	4.04	1.88	4.04
		Nec.	0.00	0.00	0.00

1.2.- Pórtico 2



Pórtico 2			Tramo: M3-B0		
Sección			30x25		
Zona			1/3L	2/3L	3/3L
Momento mín.	[t·m]		--	--	--
x	[m]		--	--	--
Momento máx.	[t·m]		--	--	--
x	[m]		--	--	--
Cortante mín.	[t]		-0.50	-0.21	--
x	[m]		0.55	3.05	--
Cortante máx.	[t]		--	0.20	0.50
x	[m]		--	6.05	8.55
Torsor mín.	[t]		--	--	--
x	[m]		--	--	--
Torsor máx.	[t]		--	--	--
x	[m]		--	--	--
Área Sup.	[cm²]	Real	1.57	1.57	1.57
		Nec.	0.00	0.00	0.00
Área Inf.	[cm²]	Real	1.57	1.57	1.57
		Nec.	0.00	0.00	0.00
Área Transv.	[cm²/m]	Real	4.04	1.88	4.04
		Nec.	0.00	0.00	0.00

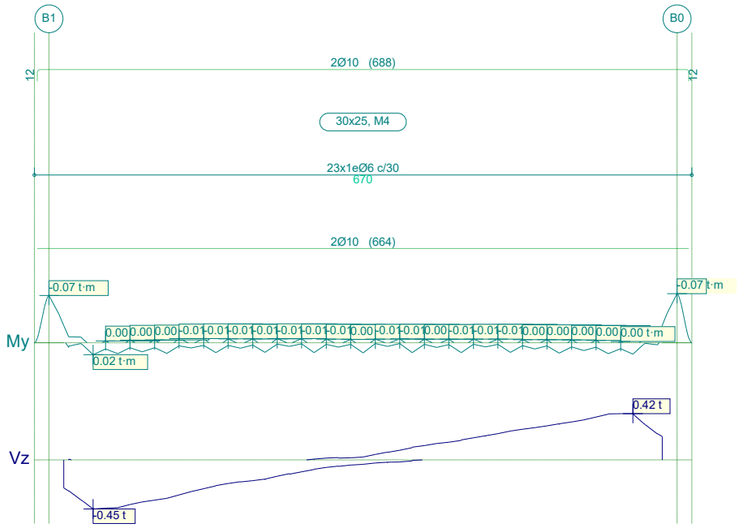
1.3.- Pórtico 3



Pórtico 3		Tramo: B2-M2		
Sección		30x25		
Zona		1/3L	2/3L	3/3L
Momento mín.	[t·m]	--	--	--
x	[m]	--	--	--
Momento máx.	[t·m]	--	--	--
x	[m]	--	--	--

Pórtico 3			Tramo: B2-M2		
Sección			30x25		
Zona			1/3L	2/3L	3/3L
Cortante mín.	[t]		-0.45	-0.17	0.00
x	[m]		0.30	2.05	6.05
Cortante máx.	[t]		0.01	0.18	0.42
x	[m]		0.05	4.05	5.80
Torsor mín.	[t]		--	--	--
x	[m]		--	--	--
Torsor máx.	[t]		--	--	--
x	[m]		--	--	--
Área Sup.	[cm²]	Real	1.57	1.57	1.57
		Nec.	0.00	0.00	0.00
Área Inf.	[cm²]	Real	1.57	1.57	1.57
		Nec.	0.00	0.00	0.00
Área Transv.	[cm²/m]	Real	1.88	1.88	1.88
		Nec.	0.00	0.00	0.00

1.4.- Pórtico 4



Pórtico 4		Tramo: B1-B0		
Sección		30x25		
Zona		1/3L	2/3L	3/3L
Momento mín.	[t·m]	--	--	--
x	[m]	--	--	--
Momento máx.	[t·m]	--	--	--
x	[m]	--	--	--

Pórtico 4			Tramo: B1-B0		
Sección			30x25		
Zona			1/3L	2/3L	3/3L
Cortante mín.	[t]		-0.45	-0.18	--
x	[m]		0.30	2.05	--
Cortante máx.	[t]		0.01	0.18	0.42
x	[m]		0.05	4.05	5.80
Torsor mín.	[t]		--	--	--
x	[m]		--	--	--
Torsor máx.	[t]		--	--	--
x	[m]		--	--	--
Área Sup.	[cm²]	Real	1.57	1.57	1.57
		Nec.	0.00	0.00	0.00
Área Inf.	[cm²]	Real	1.57	1.57	1.57
		Nec.	0.00	0.00	0.00
Área Transv.	[cm²/m]	Real	1.88	1.88	1.88
		Nec.	0.00	0.00	0.00

Listado de medición de vigas
Obra: mur nau 6.4x9.4
Fecha: 10/02/2023 16:48:12

Materiales:
Hormigón: HA-30, Yc=1.5
Acero: B 500 S, Ys=1.15

Materiales de cimentación:
Hormigón: HA-30, Yc=1.5
Acero: B 500 S, Ys=1.15

	Tipo	A.neg. kg	A.pos. kg	A.est. kg	Total kg	Ø6 kg	Ø10 kg	V.horm. m³
Cimentación								
*Pórtico 1 1(B2-B1)	Cim.	11.9	12.2	9.4	33.5	9.4	24.1	0.705
*Pórtico 2 1(M3-B0)	Cim.	11.9	12.2	9.4	33.5	9.4	24.1	0.705
*Pórtico 3 1(B2-M2)	Cim.	8.2	8.5	4.5	21.2	4.5	16.7	0.480
*Pórtico 4 1(B1-B0)	Cim.	8.2	8.5	4.5	21.2	4.5	16.7	0.480
Total Cimentación		40.2	41.4	27.8	109.4	27.8	81.6	2.370
Total Obra		40.2	41.4	27.8	109.4	27.8	81.6	2.370

- A.neg.: Armado de negativos
- A.pos.: Armado de positivos
- A.est.: Armado estribos

Listado de medición de vigas
Obra: mur nau 6.4x9.4
Fecha: 10/02/2023 16:48:12

Materiales:
Hormigón: HA-30, Yc=1.5
Acero: B 500 S, Ys=1.15

Materiales de cimentación:
Hormigón: HA-30, Yc=1.5
Acero: B 500 S, Ys=1.15

Resumen de medición (+10%)

	Tipo Acero	Ø6 kg	Ø10 kg	Total kg
Cimentación	B 500 S, Ys=1.15	30.6	89.8	120.4
Total Obra		30.6	89.8	120.4

Armados de losas

mur nau 6.4x9.4

Cimentación
Número Plantas Iguales: 1

Malla 1: Losa maciza

Alineaciones longitudinales
Armadura Base Inferior: 1Ø12c/30
Armadura Base Superior: 1Ø12c/30
Canto: 25

Alineaciones transversales
Armadura Base Inferior: 1Ø12c/30
Armadura Base Superior: 1Ø12c/30
Canto: 25

Alineación 11: (x= 1.95) Inferior (y= 0.10)-(y= 0.51) 1Ø12c/30

Alineación 12: (x= 2.20) Inferior (y= 0.10)-(y= 0.51) 1Ø12c/30

Alineación 13: (x= 2.45) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 14: (x= 2.70) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 15: (x= 2.95) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 16: (x= 3.20) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 17: (x= 3.45) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 18: (x= 3.70) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 19: (x= 3.95) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 20: (x= 4.20) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 21: (x= 4.45) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Armados de losas

mur nau 6.4x9.4

Alineación 22: (x= 4.70) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 23: (x= 4.95) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 24: (x= 5.20) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 25: (x= 5.45) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 26: (x= 5.70) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 27: (x= 5.95) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 28: (x= 6.20) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 29: (x= 6.45) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 30: (x= 6.70) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 31: (x= 6.95) Inferior 19+ (y= -0.13)-(y= 0.85) 1Ø12c/30
(y= 5.74)-(y= 6.53) +19 1Ø12c/30

Alineación 32: (x= 7.20) Inferior (y= 0.10)-(y= 0.52) 1Ø12c/30

Medición de superficies y volúmenes
Obra: mur nau 6.4x9.4

Grupo de Plantas Número 0: Cimentación
Número Plantas Iguales: 1

Superficie total: 64.99 m2
Superficie total forjados: 55.51 m2
Losas de cimentación: 55.51 m2
Superficie en planta de vigas, zunchos y muros: 9.48 m2
Superficie lateral de vigas, zunchos y muros: 8.20 m2
Hormigón total en vigas: 2.37 m3
Vigas: 2.37 m3
Volumen total forjados: 13.88 m3
Losas de cimentación: 13.88 m3

Grupo de Plantas Número 1: cap del mur
Número Plantas Iguales: 1

Superficie total: 9.48 m2
Superficie total forjados: 0.00 m2
Superficie en planta de vigas, zunchos y muros: 9.48 m2
Hormigón total en vigas: 0.00 m3
Volumen total forjados: 0.00 m3

Medición de superficies y volúmenes
Obra: mur nau 6.4x9.4

Resumen total obra

Superficie total: 74.47 m2
Superficie total forjados: 55.51 m2
Losas de cimentación: 55.51 m2
Superficie en planta de vigas, zunchos y muros: 18.96 m2
Superficie lateral de vigas, zunchos y muros: 8.20 m2
Hormigón total en vigas: 2.37 m3
Vigas: 2.37 m3
Volumen total forjados: 13.88 m3
Losas de cimentación: 13.88 m3

Cuantías de obra

mur nau 6.4x9.4

* La medición de la armadura base de losas es aproximada.

Cimentación - Superficie total: 64.99 m²

Elemento	Superficie (m²)	Volumen (m³)	Barras (kg)
Forjados	55.51	13.88	36
*Arm. base losas			772
Vigas	9.48	2.37	120
Encofrado lateral	8.20		
Total	73.19	16.25	928
Índices (por m²)	1.126	0.250	14.28

cap del mur - Superficie total: 9.48 m²

Elemento	Superficie (m²)	Volumen (m³)	Barras (kg)
Vigas	9.48		
Muros	131.20	19.68	1303
Pilares (Sup. Encofrado)	0.00		
Total	140.68	19.68	1303
Índices (por m²)	14.840	2.076	137.45

Total obra - Superficie total: 74.47 m²

Elemento	Superficie (m²)	Volumen (m³)	Barras (kg)
Forjados	55.51	13.88	36
*Arm. base losas			772
Vigas	18.96	2.37	120
Encofrado lateral	8.20		
Muros	131.20	19.68	1303
Pilares (Sup. Encofrado)	0.00		
Total	213.87	35.93	2231
Índices (por m²)	2.872	0.482	29.96

ÍNDICE

1.- MATERIALES 2
1.1.- Hormigones 2
1.2.- Aceros por elemento y posición 2
1.2.1.- Aceros en barras 2
1.2.2.- Aceros en perfiles 2

2.- ESFUERZOS DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS POR HIPÓTESIS 2

3.- ARRANQUES DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS POR HIPÓTESIS 4

4.- PÉSIMOS DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS 6
4.1.- Muros 6

5.- LISTADO DE ARMADO DE MUROS DE SÓTANO 8

6.- SUMATORIO DE ESFUERZOS DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS POR HIPÓTESIS Y PLANTA 9
6.1.- Resumido 9

1.- MATERIALES

1.1.- Hormigones

Elemento	Hormigón	f_{ck} (kp/cm²)	γ_c	Árido		E_c (kp/cm²)
				Naturaleza	Tamaño máximo (mm)	
Todos	HA-30	306	1.50	Cuarcita	15	291305

1.2.- Aceros por elemento y posición

1.2.1.- Aceros en barras

Elemento	Acero	f_{yk} (kp/cm²)	γ_s
Todos	B 500 S	5097	1.15

1.2.2.- Aceros en perfiles

Tipo de acero para perfiles	Acero	Límite elástico (kp/cm²)	Módulo de elasticidad (kp/cm²)
Acero conformado	S 275	2803	2140673
Acero laminado	S275 (EAE)	2803	2140673

2.- ESFUERZOS DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS POR HIPÓTESIS

■ Tramo: Nivel inicial / nivel final del tramo entre plantas.

■ Nota:

Soporte	Planta	Dimensión (cm)	Tramo (m)	Hipótesis	Base						Cabeza					
					N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)	N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)
M2	cap del mur	30.0	-2.00/0.00	Peso propio	14.98	-0.01	-2.90	0.00	-2.48	-0.03	1.39	0.22	-0.00	-0.00	-0.48	-0.16
				Cargas muertas	0.40	0.00	1.30	-0.00	1.07	0.01	0.26	-0.04	0.00	0.00	0.26	0.07
				H 1 terreny	2.06	0.14	-11.57	-0.02	-23.78	0.01	-0.26	-0.46	0.00	0.03	4.01	0.93
				Sobrecarga (Uso A)	0.02	0.00	0.16	-0.00	0.13	0.00	-0.00	-0.01	0.00	0.00	0.03	0.01
				Sobrecarga (Uso H)	0.69	-0.00	-0.14	0.00	-0.12	-0.00	0.71	0.02	-0.00	-0.00	-0.03	-0.01
				Q (Uso H)	0.71	-0.00	1.19	0.00	0.48	0.01	1.70	0.06	-0.00	-0.00	0.78	-0.03
				Q 1 (Uso H)	-0.28	-0.80	-0.02	0.09	-0.03	-0.32	-0.00	0.00	0.00	0.05	-0.00	-0.07
				Q 2 (Uso H)	-0.28	0.80	-0.02	-0.09	-0.03	0.31	-0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	0.07
				V(0°) H1	0.23	-0.01	0.60	-0.00	0.25	0.01	-0.24	0.05	-0.00	0.00	0.39	-0.01
				V(90°) H1	-0.97	1.35	0.41	0.70	0.27	-0.59	-0.83	0.42	-0.00	0.58	0.16	0.04
				V(180°) H1	-1.08	0.00	-0.71	0.00	-0.32	-0.01	-1.30	-0.09	0.00	0.00	-0.45	0.01
				V(180°) H2	-0.41	0.00	-0.81	0.00	-0.42	-0.01	-0.51	-0.03	0.00	0.00	-0.45	0.00
				V(270°) H1	-0.97	-1.35	0.41	-0.70	0.27	0.60	-0.86	-0.56	-0.00	-0.59	0.16	-0.02
				N(EI)	0.86	-0.00	0.08	0.00	-0.03	0.00	1.02	0.06	-0.00	0.00	0.12	-0.01
				N(R)	0.43	-0.00	0.04	0.00	-0.02	0.00	0.51	0.03	-0.00	0.00	0.06	-0.01
M1	cap del mur	30.0	-2.00/0.00	Peso propio	15.53	0.00	2.94	0.01	2.54	0.03	1.86	0.35	0.00	-0.00	0.48	0.17
				Cargas muertas	0.39	-0.00	-1.29	-0.00	-1.07	-0.01	0.26	-0.07	-0.00	0.00	-0.25	-0.07
				H 1 terreny	1.95	0.09	11.62	-0.03	23.62	-0.01	-0.29	-0.93	-0.00	0.02	-3.95	-0.96
				Sobrecarga (Uso A)	0.01	-0.00	-0.16	-0.00	-0.13	-0.00	-0.00	-0.01	-0.00	0.00	-0.03	-0.01
				Sobrecarga (Uso H)	0.69	-0.00	0.14	0.00	0.12	0.00	0.71	0.02	0.00	-0.00	0.03	0.01
				Q (Uso H)	0.93	0.00	-1.42	0.00	-0.58	-0.01	2.16	0.06	0.00	-0.00	-0.90	0.04
				Q 1 (Uso H)	2.35	3.75	0.37	0.13	0.30	0.54	3.08	3.63	0.00	-0.07	0.08	-0.15
				Q 2 (Uso H)	2.35	-3.75	0.37	-0.13	0.30	-0.54	2.92	-3.58	0.00	0.07	0.08	0.19
				V(0°) H1	-2.04	0.00	1.18	-0.00	0.49	0.02	-2.25	-0.21	-0.00	0.00	0.77	-0.04
				V(90°) H1	-0.95	1.75	-0.45	0.79	-0.29	0.62	-0.75	0.51	0.00	0.67	-0.18	-0.06
				V(180°) H1	0.04	-0.00	-0.28	-0.00	-0.09	-0.00	-0.36	0.03	0.00	0.00	-0.20	0.01
				V(180°) H2	0.85	-0.00	-0.47	0.00	-0.12	-0.00	0.56	0.10	0.00	0.00	-0.38	0.02
				V(270°) H1	-0.95	-1.75	-0.45	-0.79	-0.29	-0.63	-0.79	-0.63	0.00	-0.67	-0.18	0.04
				N(EI)	0.86	-0.00	-0.09	0.00	0.03	-0.00	1.01	0.07	0.00	0.00	-0.13	0.02
				N(R)	0.43	-0.00	-0.05	0.00	0.01	-0.00	0.51	0.04	0.00	0.00	-0.07	0.01

Soporte	Planta	Dimensión (cm)	Tramo (m)	Hipótesis	Base						Cabeza					
					N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)	N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)
M3	cap del mur	30.0	-2.00/0.00	Peso propio	10.96	2.86	-0.15	2.59	-0.03	0.12	0.95	-0.00	-0.32	0.42	0.00	0.28
				Cargas muertas	0.07	-1.17	-0.02	-1.05	0.00	-0.02	0.20	0.00	0.01	-0.18	-0.00	-0.12
				H 1 terreny	-1.98	3.14	-0.19	11.59	0.08	-0.29	0.13	-0.00	0.10	-3.28	-0.04	-1.43
				Sobrecarga (Uso A)	-0.01	-0.15	-0.00	-0.13	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.00	-0.01
				Sobrecarga (Uso H)	0.49	0.13	0.00	0.12	-0.00	0.00	0.48	-0.00	-0.01	0.02	0.00	0.01
				Q (Uso H)	1.28	0.53	-0.08	0.55	0.05	0.10	0.19	-0.00	0.18	0.03	0.06	0.08
				Q 1 (Uso H)	-0.15	0.04	0.51	0.02	-0.12	0.17	-0.56	-0.00	1.76	0.04	-0.07	0.20
				Q 2 (Uso H)	1.08	0.26	-2.03	0.25	-0.15	0.39	0.57	0.00	-1.78	0.01	-0.01	-0.15
				V(0°) H1	-1.10	-0.54	1.90	-0.41	1.13	-0.88	-0.78	0.00	0.31	-0.21	0.91	0.09
				V(90°) H1	-0.96	-0.01	0.06	-0.09	-0.01	0.00	-1.06	-0.00	0.23	0.12	-0.01	-0.01
				V(180°) H1	-0.71	-0.43	-1.01	-0.29	-0.69	0.46	-0.40	0.00	-0.04	-0.18	-0.56	-0.08
				V(180°) H2	-0.07	-0.24	-1.20	-0.11	-0.83	0.57	0.13	0.00	0.01	-0.16	-0.69	-0.07
				V(270°) H1	-0.10	-0.12	-0.12	-0.06	-0.02	0.02	-0.33	0.00	-0.08	-0.08	-0.01	-0.01
				N(EI)	0.77	0.23	0.01	0.23	0.00	0.01	0.63	-0.00	-0.02	0.02	0.00	0.03
				N(R)	0.38	0.12	0.00	0.11	0.00	0.00	0.32	-0.00	-0.01	0.01	0.00	0.01
M4	cap del mur	30.0	-2.00/0.00	Peso propio	10.97	-2.87	-0.15	-2.60	-0.03	-0.13	0.83	0.00	-0.23	-0.42	-0.00	-0.28
				Cargas muertas	0.07	1.17	-0.02	1.05	0.00	0.03	0.23	-0.00	-0.01	0.18	-0.00	0.12
				H 1 terreny	-2.03	-3.11	-0.21	-11.54	0.08	0.33	0.42	-0.00	-0.22	3.24	-0.02	1.44
				Sobrecarga (Uso A)	-0.01	0.15	-0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.02	-0.00	0.01
				Sobrecarga (Uso H)	0.49	-0.13	0.00	-0.12	-0.00	-0.00	0.47	0.00	-0.01	-0.02	-0.00	-0.01
				Q (Uso H)	1.29	-0.53	-0.08	-0.55	0.05	-0.10	0.17	0.00	0.18	-0.03	0.06	-0.08
				Q 1 (Uso H)	1.08	-0.26	-2.04	-0.24	-0.15	-0.38	0.48	-0.00	-1.52	-0.02	-0.01	0.13
				Q 2 (Uso H)	-0.15	-0.04	0.52	-0.02	-0.12	-0.17	-0.48	0.00	1.54	-0.04	-0.07	-0.18
				V(0°) H1	-1.10	0.54	1.91	0.41	1.12	0.88	-0.74	-0.00	0.14	0.21	0.92	-0.09
				V(90°) H1	-0.10	0.12	-0.12	0.06	-0.02	-0.02	-0.34	-0.00	-0.06	0.08	-0.01	0.01
				V(180°) H1	-0.71	0.43	-1.02	0.29	-0.69	-0.46	-0.39	-0.00	0.04	0.17	-0.57	0.08
				V(180°) H2	-0.07	0.24	-1.20	0.10	-0.83	-0.57	0.12	-0.00	0.10	0.15	-0.69	0.07
				V(270°) H1	-0.96	0.01	0.06	0.09	-0.01	-0.00	-1.00	0.00	0.22	-0.11	-0.01	0.02
				N(EI)	0.77	-0.23	0.01	-0.23	0.00	-0.01	0.60	0.00	-0.01	-0.02	0.00	-0.03
				N(R)	0.38	-0.12	0.00	-0.11	0.00	-0.00	0.30	0.00	-0.00	-0.01	0.00	-0.01

3.- ARRANQUES DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS POR HIPÓTESIS

■ Nota:

Los esfuerzos de pantallas y muros son en ejes generales y referidos al centro de gravedad de la pantalla o muro en la planta.

Soporte	Hipótesis	Esfuerzos en arranques					
		N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)

Soporte	Hipótesis	Esfuerzos en arranques					
		N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)
M2	Peso propio	14.98	-0.01	-2.90	0.00	-2.48	-0.03
	Cargas muertas	0.40	0.00	1.30	-0.00	1.07	0.01
	H 1 terreny	2.06	0.14	-11.57	-0.02	-23.78	0.01
	Sobrecarga (Uso A)	0.02	0.00	0.16	-0.00	0.13	0.00
	Sobrecarga (Uso H)	0.69	-0.00	-0.14	0.00	-0.12	-0.00
	Q (Uso H)	0.71	-0.00	1.19	0.00	0.48	0.01
	Q 1 (Uso H)	-0.28	-0.80	-0.02	0.09	-0.03	-0.32
	Q 2 (Uso H)	-0.28	0.80	-0.02	-0.09	-0.03	0.31
	V(0°) H1	0.23	-0.01	0.60	-0.00	0.25	0.01
	V(90°) H1	-0.97	1.35	0.41	0.70	0.27	-0.59
	V(180°) H1	-1.08	0.00	-0.71	0.00	-0.32	-0.01
	V(180°) H2	-0.41	0.00	-0.81	0.00	-0.42	-0.01
	V(270°) H1	-0.97	-1.35	0.41	-0.70	0.27	0.60
	N(EI)	0.86	-0.00	0.08	0.00	-0.03	0.00
	N(R)	0.43	-0.00	0.04	0.00	-0.02	0.00
M1	Peso propio	15.53	0.00	2.94	0.01	2.54	0.03
	Cargas muertas	0.39	-0.00	-1.29	-0.00	-1.07	-0.01
	H 1 terreny	1.95	0.09	11.62	-0.03	23.62	-0.01
	Sobrecarga (Uso A)	0.01	-0.00	-0.16	-0.00	-0.13	-0.00
	Sobrecarga (Uso H)	0.69	-0.00	0.14	0.00	0.12	0.00
	Q (Uso H)	0.93	0.00	-1.42	0.00	-0.58	-0.01
	Q 1 (Uso H)	2.35	3.75	0.37	0.13	0.30	0.54
	Q 2 (Uso H)	2.35	-3.75	0.37	-0.13	0.30	-0.54
	V(0°) H1	-2.04	0.00	1.18	-0.00	0.49	0.02
	V(90°) H1	-0.95	1.75	-0.45	0.79	-0.29	0.62
	V(180°) H1	0.04	-0.00	-0.28	-0.00	-0.09	-0.00
	V(180°) H2	0.85	-0.00	-0.47	0.00	-0.12	-0.00
	V(270°) H1	-0.95	-1.75	-0.45	-0.79	-0.29	-0.63
	N(EI)	0.86	-0.00	-0.09	0.00	0.03	-0.00
	N(R)	0.43	-0.00	-0.05	0.00	0.01	-0.00

Soporte	Hipótesis	Esfuerzos en arranques					
		N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)
M3	Peso propio	10.96	2.86	-0.15	2.59	-0.03	0.12
	Cargas muertas	0.07	-1.17	-0.02	-1.05	0.00	-0.02
	H 1 terreny	-1.98	3.14	-0.19	11.59	0.08	-0.29
	Sobrecarga (Uso A)	-0.01	-0.15	-0.00	-0.13	0.00	-0.00
	Sobrecarga (Uso H)	0.49	0.13	0.00	0.12	-0.00	0.00
	Q (Uso H)	1.28	0.53	-0.08	0.55	0.05	0.10
	Q 1 (Uso H)	-0.15	0.04	0.51	0.02	-0.12	0.17
	Q 2 (Uso H)	1.08	0.26	-2.03	0.25	-0.15	0.39
	V(0°) H1	-1.10	-0.54	1.90	-0.41	1.13	-0.88
	V(90°) H1	-0.96	-0.01	0.06	-0.09	-0.01	0.00
	V(180°) H1	-0.71	-0.43	-1.01	-0.29	-0.69	0.46
	V(180°) H2	-0.07	-0.24	-1.20	-0.11	-0.83	0.57
	V(270°) H1	-0.10	-0.12	-0.12	-0.06	-0.02	0.02
	N(EI)	0.77	0.23	0.01	0.23	0.00	0.01
	N(R)	0.38	0.12	0.00	0.11	0.00	0.00
M4	Peso propio	10.97	-2.87	-0.15	-2.60	-0.03	-0.13
	Cargas muertas	0.07	1.17	-0.02	1.05	0.00	0.03
	H 1 terreny	-2.03	-3.11	-0.21	-11.54	0.08	0.33
	Sobrecarga (Uso A)	-0.01	0.15	-0.00	0.13	0.00	0.00
	Sobrecarga (Uso H)	0.49	-0.13	0.00	-0.12	-0.00	-0.00
	Q (Uso H)	1.29	-0.53	-0.08	-0.55	0.05	-0.10
	Q 1 (Uso H)	1.08	-0.26	-2.04	-0.24	-0.15	-0.38
	Q 2 (Uso H)	-0.15	-0.04	0.52	-0.02	-0.12	-0.17
	V(0°) H1	-1.10	0.54	1.91	0.41	1.12	0.88
	V(90°) H1	-0.10	0.12	-0.12	0.06	-0.02	-0.02
	V(180°) H1	-0.71	0.43	-1.02	0.29	-0.69	-0.46
	V(180°) H2	-0.07	0.24	-1.20	0.10	-0.83	-0.57
	V(270°) H1	-0.96	0.01	0.06	0.09	-0.01	-0.00
	N(EI)	0.77	-0.23	0.01	-0.23	0.00	-0.01
	N(R)	0.38	-0.12	0.00	-0.11	0.00	-0.00

4.- PÉSIMOS DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS

4.1.- Muros

Referencias:

Aprovechamiento: Nivel de tensiones (relación entre la tensión máxima y la admisible). Equivale al inverso del coeficiente de seguridad.

Nx : Axil vertical.

Ny : Axil horizontal.

Nxy: Axil tangencial.

Mx : Momento vertical (alrededor del eje horizontal).

My : Momento horizontal (alrededor del eje vertical).

Mxy: Momento torsor.

Qx : Cortante transversal vertical.

Qy : Cortante transversal horizontal.

Muro M2: Longitud: 940 cm [Nudo inicial: 0.00;6.40 -> Nudo final: 9.40;6.40]

Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			Nx (t/m)	Ny (t/m)	Nxy (t/m)	Mx (t·m/m)	My (t·m/m)	Mxy (t·m/m)	Qx (t/m)	Qy (t/m)
cap del mur (e=30.0 cm)	Arm. vert. der.	2.64	-3.75	-0.47	0.10	-3.62	-0.46	-0.10	---	---
	Arm. horz. der.	1.95	0.72	-5.96	-0.48	0.00	-2.57	0.02	---	---
	Arm. vert. izq.	111.31	-2.99	-0.38	0.15	-3.59	-0.45	-0.11	---	---
	Arm. horz. izq.	23.50	-2.69	-0.34	0.70	-3.24	-0.41	-0.35	---	---
	Hormigón	6.81	-3.75	-0.47	0.10	-3.62	-0.46	-0.10	---	---
	Arm. transve.	2.34	-2.22	-1.11	-0.74	---	---	---	3.29	0.16

Muro M1: Longitud: 940 cm [Nudo inicial: 0.00;0.00 -> Nudo final: 9.40;0.00]

Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			Nx (t/m)	Ny (t/m)	Nxy (t/m)	Mx (t·m/m)	My (t·m/m)	Mxy (t·m/m)	Qx (t/m)	Qy (t/m)
cap del mur (e=30.0 cm)	Arm. vert. der.	119.63	-3.29	-0.42	0.29	3.87	0.49	0.10	---	---
	Arm. horz. der.	25.60	-2.63	-0.33	0.86	3.42	0.43	0.38	---	---
	Arm. vert. izq.	2.84	-3.94	-0.50	-0.24	3.91	0.49	0.12	---	---
	Arm. horz. izq.	2.17	-0.35	-6.06	0.41	-0.01	2.92	-0.37	---	---
	Hormigón	7.34	-3.94	-0.50	-0.24	3.91	0.49	0.12	---	---
	Arm. transve.	2.46	-2.70	-1.46	0.31	---	---	---	-3.47	-0.13

Muro M3: Longitud: 640 cm [Nudo inicial: 0.00;0.00 -> Nudo final: 0.00;6.40]

Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			Nx (t/m)	Ny (t/m)	Nxy (t/m)	Mx (t·m/m)	My (t·m/m)	Mxy (t·m/m)	Qx (t/m)	Qy (t/m)
cap del mur (e=30.0 cm)	Arm. vert. der.	1.74	-3.39	-0.43	-0.00	-2.29	-0.29	-0.02	---	---
	Arm. horz. der.	2.13	0.66	-7.71	0.88	0.00	-2.66	0.11	---	---

Muro M3: Longitud: 640 cm [Nudo inicial: 0.00;0.00 -> Nudo final: 0.00;6.40]										
Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			Nx (t/m)	Ny (t/m)	Nxy (t/m)	Mx (t·m/m)	My (t·m/m)	Mxy (t·m/m)	Qx (t/m)	Qy (t/m)
	Arm. vert. izq.	0.57	-0.65	-6.71	-0.28	0.79	0.05	0.79	---	---
	Arm. horz. izq.	1.15	-0.53	-6.06	0.17	0.46	1.23	-0.22	---	---
	Hormigón	6.11	0.66	-7.71	0.88	0.00	-2.66	0.11	---	---
	Arm. transve.	1.77	-2.28	-2.17	-0.01	---	---	---	2.49	0.05

Muro M4: Longitud: 640 cm [Nudo inicial: 9.40;0.00 -> Nudo final: 9.40;6.40]										
Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			Nx (t/m)	Ny (t/m)	Nxy (t/m)	Mx (t·m/m)	My (t·m/m)	Mxy (t·m/m)	Qx (t/m)	Qy (t/m)
cap del mur (e=30.0 cm)	Arm. vert. der.	0.57	-0.66	-6.75	-0.28	-0.79	-0.06	-0.80	---	---
	Arm. horz. der.	1.16	-0.53	-6.10	0.17	0.01	-1.23	0.22	---	---
	Arm. vert. izq.	1.74	-3.38	-0.43	-0.00	2.29	0.29	0.02	---	---
	Arm. horz. izq.	2.19	0.63	-8.03	1.11	0.00	2.73	-0.16	---	---
	Hormigón	6.30	0.63	-8.03	1.11	0.00	2.73	-0.16	---	---
	Arm. transve.	1.77	-2.28	-2.19	-0.01	---	---	---	-2.49	-0.06

5.- LISTADO DE ARMADO DE MUROS DE SÓTANO

Muro M2: Longitud: 940 cm [Nudo inicial: 0.00;6.40 -> Nudo final: 9.40;6.40]											
Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal		Armadura transversal				F.C. (%)	Estado
		Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Ramas	Diám.	Sep.ver (cm)	Sep.hor (cm)		
cap del mur	30.0	Ø10c/25 cm	Ø10c/25 cm	Ø8c/10 cm	Ø8c/10 cm	---	---	---	---	98.5	---

Muro M1: Longitud: 940 cm [Nudo inicial: 0.00;0.00 -> Nudo final: 9.40;0.00]											
Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal		Armadura transversal				F.C. (%)	Estado
		Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Ramas	Diám.	Sep.ver (cm)	Sep.hor (cm)		
cap del mur	30.0	Ø10c/25 cm	Ø10c/25 cm	Ø8c/10 cm	Ø8c/10 cm	---	---	---	---	98.0	---

Muro M3: Longitud: 640 cm [Nudo inicial: 0.00;0.00 -> Nudo final: 0.00;6.40]

Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal		Armadura transversal				F.C. (%)	Estado
		Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Ramas	Diám.	Sep.ver (cm)	Sep.hor (cm)		
cap del mur	30.0	Ø10c/25 cm	Ø10c/25 cm	Ø8c/10 cm	Ø8c/10 cm	---	---	---	---	100.0	---

Muro M4: Longitud: 640 cm [Nudo inicial: 9.40;0.00 -> Nudo final: 9.40;6.40]											
Planta	Espesor (cm)	Armadura vertical		Armadura horizontal		Armadura transversal				F.C. (%)	Estado
		Izquierda	Derecha	Izquierda	Derecha	Ramas	Diám.	Sep.ver (cm)	Sep.hor (cm)		
cap del mur	30.0	Ø10c/25 cm	Ø10c/25 cm	Ø8c/10 cm	Ø8c/10 cm	---	---	---	---	100.0	---

F.C. = El factor de cumplimiento indica el porcentaje de área en el cual el armado y espesor de hormigón son suficientes.

6.- SUMATORIO DE ESFUERZOS DE PILARES, PANTALLAS Y MUROS POR HIPÓTESIS Y PLANTA

- Sólo se tienen en cuenta los esfuerzos de pilares, muros y pantallas, por lo que si la obra tiene vigas con vinculación exterior, vigas inclinadas, diagonales o estructuras 3D integradas, los esfuerzos de dichos elementos no se muestran en el siguiente listado.
- Este listado es de utilidad para conocer las cargas actuantes por encima de la cota de la base de los soportes sobre una planta, por lo que para casos tales como pilares apeados traccionados, los esfuerzos de dichos pilares tendrán la influencia no sólo de las cargas por encima sino también la de las cargas que recibe de plantas inferiores.

6.1.- Resumido

Valores referidos al origen (X=0.00, Y=0.00)								
Planta	Cota (m)	Hipótesis	N (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Qx (t)	Qy (t)	T (t·m)
Cimentación	-2.00	Peso propio	52.44	246.47	165.78	0.00	0.00	0.00
		Cargas muertas	0.95	4.46	3.03	-0.00	-0.00	-0.00
		H 1 terreny	0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00
		Sobrecarga (Uso A)	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
		Sobrecarga (Uso H)	2.37	11.14	7.58	0.00	0.00	0.00
		Q (Uso H)	4.22	19.82	12.40	0.00	0.00	0.00
		Q 1 (Uso H)	3.00	22.61	0.00	-0.00	0.00	0.00
		Q 2 (Uso H)	3.00	5.59	0.00	0.00	0.00	-0.00
		V(0°) H1	-4.00	-18.82	0.04	0.00	2.99	14.06
		V(90°) H1	-2.98	-6.79	-9.70	1.45	-0.04	-4.58
		V(180°) H1	-2.46	-11.55	-14.46	-0.00	-1.79	-8.41
		V(180°) H2	0.30	1.43	-6.74	-0.00	-2.20	-10.35
		V(270°) H1	-2.98	-21.22	-9.70	-1.45	-0.04	4.17
		N(EI)	3.26	15.33	10.43	0.00	0.00	0.00
		N(R)	1.63	7.67	5.22	0.00	0.00	0.00

ÍNDICE

1.- VIGAS..... 2
1.1.- Cimentación..... 2

1.- VIGAS

1.1.- Cimentación

Vigas	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE-08)			Estado
	Q	N,M	-	
B2 - B1	'B2' η = 0.2	'B1' η = 11.3	N.P.[1]	**CUMPLE** **η = 11.3**
M3 - B0	'B0' η = 0.3	'M3' η = 9.8	N.P.[1]	**CUMPLE** **η = 9.8**
B2 - M2	η = 0.4	η = 7.1	N.P.[1]	**CUMPLE** **η = 7.1**
B1 - B0	η = 0.4	η = 7.2	N.P.[1]	**CUMPLE** **η = 7.2**

Notación:
Q: Estado límite de agotamiento frente a cortante (combinaciones no sísmicas)
N,M: Estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales (combinaciones no sísmicas)
-: -
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
[1] No hay esfuerzos que produzcan tensiones normales para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Vigas	COMPROBACIONES DE FISURACIÓN (INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL EHE-08)	Estado
	-	
B2 - B1	N.P.[1]	**NO PROCEDE**
M3 - B0	N.P.[1]	**NO PROCEDE**
B2 - M2	N.P.[1]	**NO PROCEDE**
B1 - B0	N.P.[1]	**NO PROCEDE**

Notación:
-: -
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

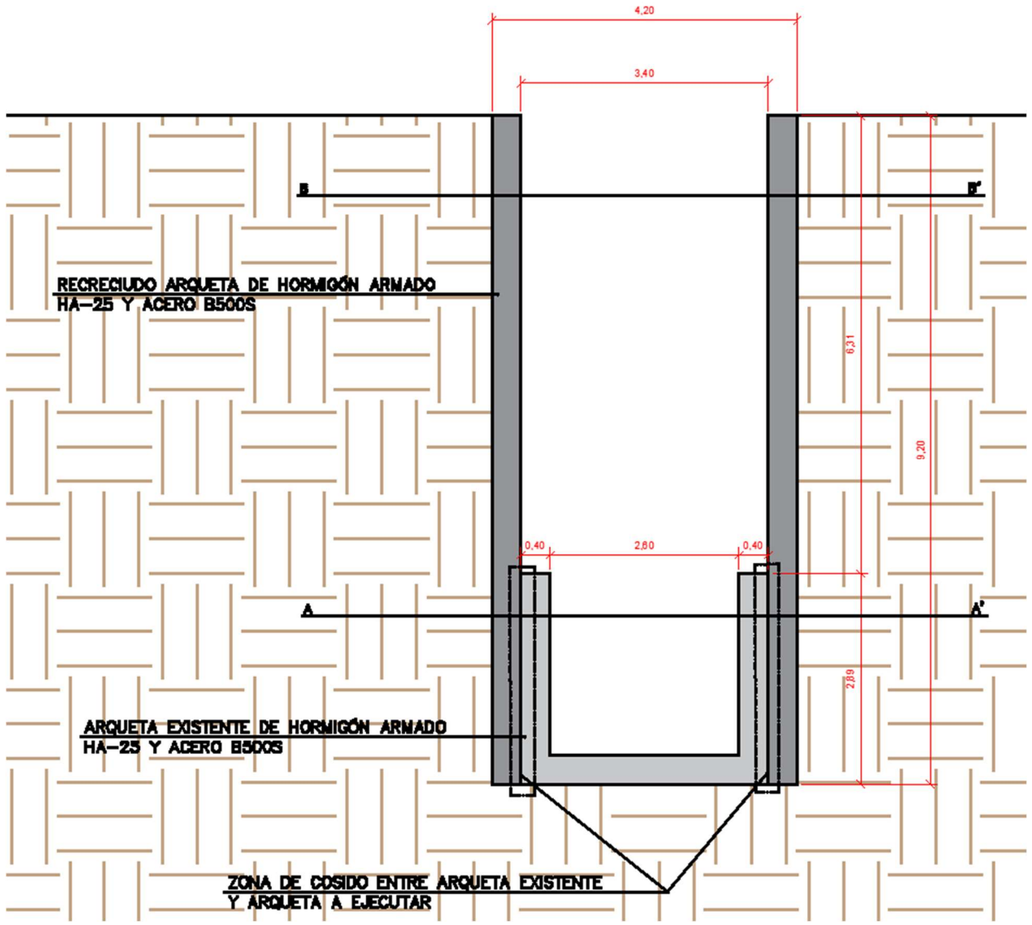
Comprobaciones que no proceden (N.P.):
[1] No hay esfuerzos que produzcan tensiones normales para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

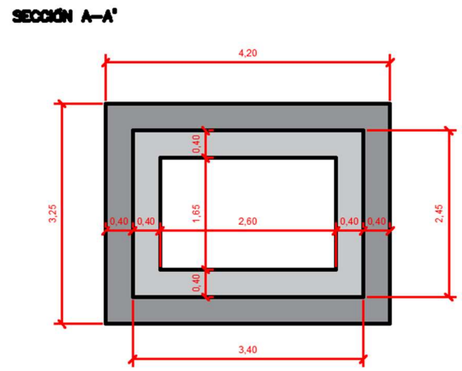
APÉNDICE 2: CÁLCULO RECRECIDO ARQUETA BALSA DEL PLA

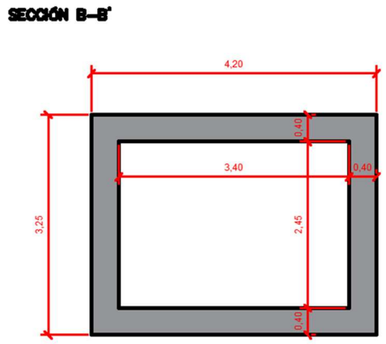
Recrecido de la arqueta de la balsa del Pla

1. Definición geométrica y materiales

A continuación se muestra modo esquema la geometría de la arqueta:







Relleno en el trasdós de la arqueta recrecida con suelo <u>gravoso-seleccionado</u> con las siguientes características:

- peso específico γ = 20kn/m3
- Cohesión c = 5kn/m3
- Angulo de rozamiento interno ϕ' = 33º

En el relleno del trasdós las condiciones son drenadas, es decir, sin agua, porque el relleno es gravoso-seleccionado. Se colocará lámina drenante en las paredes y en el fondo exterior de la arqueta se dispondrá tubo ranurado perimetralmente de ϕ160mm para drenar la posible existencia de agua.

2. Acciones (para cálculo armadura vertical u de cortante)

2.1 <u>Empuje activo de tierras</u>

Se considera que el empuje de tierras es activo porque las paredes de la arqueta tienden a desplazarse hacia el interior. El empuje activo (Pa) es la resultante total de los empujes unitarios (tensiones σ'a) que se calculan según la siguiente formulación:

... a que se calculan según la siguiente formulación

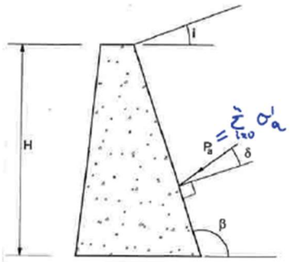


Fig 4

$$\sigma'_a = K_A \cdot \sigma'_v - 2 \cdot c' \cdot \sqrt{K_A}$$

$$\sigma'_{ah} = \sigma'_a \cdot \text{sen}(\beta + \delta)$$

$$K_A = \left[\frac{\text{cosec}\,\beta \cdot \text{sen}(\beta - \phi')}{\sqrt{\text{sen}(\beta+\delta)} + \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta+\phi') \cdot \text{sen}(\phi' - i)}{\text{sen}(\beta - i)}}} \right]^2$$

siendo

σ'_v	la tensión efectiva vertical, de valor $\gamma' \cdot z$, siendo γ' el peso específico efectivo del terreno y z la altura del punto considerado respecto a la rasante del terreno en su acometida al muro;
σ'_{ah}	La componente horizontal del empuje unitario
ϕ' y c'	el ángulo de rozamiento interno y la cohesión del terreno o relleno del trasdós;
β, i	los ángulos indicados en la Figura 6.3;
δ	El ángulo de rozamiento entre el muro y el terreno o relleno.

Para la sección A-A' se considera H=9,2m, i para la sección B-B' se considera H=6,30m.

Tenemos:

$$\sigma'v = \sigma v - Pw = \sigma v = \gamma * H$$

Consideramos:

- Pw = 0 (condiciones drenadas)
- ϕ' = 30º (para estar del lado de la seguridad)
- c = 0kn/m3 (para estar del lado de la seguridad)
- B = 90º (pared vertical)
- i = 0º (coronación horizontal)
- δ = 0º (paredes de arqueta lisas)

2.2 Cálculo esfuerzos en sección A-A'

$$\sigma'a = ka * \sigma'v = ka * \sigma v = ka * \gamma * H$$

$$\sigma'ah = \sigma'a = ka * \gamma * H$$

$$Pa = \frac{0 + Ka * \gamma * H}{2} * H * 1ml = \frac{Ka * \gamma * H^2}{2}$$

$$Pa = \frac{0.33 * 20KN/m3 * 9{,}2^2 m2 * 1m}{2} = 279{,}312KN$$

El momento flector generado por el empuje activo de tierras (por unidad de longitud horizontal) en el "arranque" de la arqueta recrecida (H = Za = 9,20m) es:

$$Mk_A = P_a * \frac{H}{3} = 279{,}312 \frac{kn}{m} * \frac{9{,}20m}{3} = 856{,}557\ KNm/1mlongitud$$

El momento flector de cálculo E.L.U. es:

$$Md = \gamma_G * M_{ka} = 1{,}35 * 856{,}557 = 1156{,}35KNm\ /1ml$$

$$\gamma_G = 1.35\ (coeficiente\ de\ seguridad\ de\ la\ acción\ permanente\ del\ empuje\ de\ tierras\ el\ cual\ es\ acción\ permanente\ y\ desfavorable)$$

El esfuerzo cortante generado por el empuje de tierras (por unidad de longitud horizontal) en el "arranque" de la arqueta (H=9,20m) es:

$$Vk_A = P_a = 279{,}312\ KN/m$$

El esfuerzo cortante de cálculo en E.L.U. es:

$$Vd = \gamma_G * V_{ka} = 1{,}35 * 279{,}312 = 377{,}05\ KN/1ml$$

2.3 *Cálculo esfuerzos en sección B-B'*

Para la sección B-B' consideramos una H = Za = 6,30m y una pared de 0,4m

$$q = \frac{Ka * \gamma * H}{1ml\ longitud\ horizontal} = \frac{0{,}33 * 20 * 9{,}2}{1} = \frac{60{,}72 \frac{KN}{ml}\ long\ vertical}{1ml\ long\ horizontal}$$

El momento flector generado por el empuje activo de tierras (por unidad de longitud horizontal) en el "arranque" de la arqueta recrecida (Z = 6,30m) es:

$$Mk_B = \frac{q * z^3}{6H} = \frac{60{,}72 * 6{,}30m}{6 * 9{,}2} = 275{,}052\ KNm/1mlongitud$$

El momento flector de cálculo E.L.U. es:

$$Md = \gamma_G * M_{ka} = 1{,}35 * 275{,}052 = 371{,}32KNm\ /1ml$$

$$\gamma_G = 1.35\ (coeficiente\ de\ seguridad\ de\ la\ acción\ permanente\ del\ empuje\ de\ tierras\ el\ cual\ es\ acción\ permanente\ y\ desfavorable)$$

El esfuerzo cortante generado por el empuje de tierras (por unidad de longitud horizontal) en la sección B-B' (Z_B=6,30m, pared de 0,40m) es:

$$Vk_B = 130{,}98\frac{KN}{ml}longitud\ horizontal$$

El esfuerzo cortante de cálculo en E.L.U. es:

$$Vd = \gamma_G * V_{kB} = 1{,}35 * 130{,}98 = 176{,}823\ KN/1ml$$

3. Cálculo armadura vertical y de cortante necesaria en sección A-A'

3.1.-Cálculo esforços en ELU

Mk	**856,56 kN·m/ml**
Md	**1.156,35 kN·m/ml**
Vk	**279,312 kN/ml**
Vd	**377,07 kN/ml**

3.2.- Armadura Flexión (ELU)

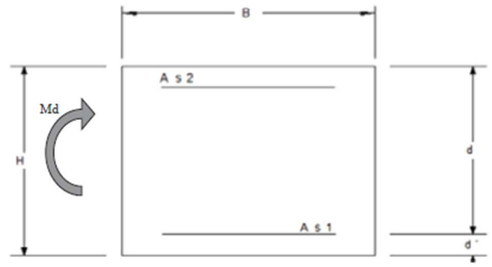
Dimensionamiento a flexión CE

Armadura As1 a disponer:	Φ	25	cada	10,0 cm	
Armadura As2 a disponer:	Φ	0	cada	20,0 cm	
Cuantía As1:	4908,74 mm²		Cuantía mín As1:		720 mm²
Cuantía As2:	0,00 mm²				
B:	1000 mm				
H:	800 mm				
recubrimiento:	50 mm				
d:	737,50 mm				
d':	62,50 mm				
F_{ck}:	25,00 MPa			F_{yk}:	500 MPa
γ:	1,50			γ:	1,15
F_{cd}:	16,67 MPa			F_{yd}:	434,78 MPa
E_c:	27264 MPa			E_s:	200000 MPa
F_{ct}:	2,56 MPa				
x lim:	454,93 mm				
y lim:	363,95 mm				
M lim:	2864,24 KNm				
Md:	1156,35 KNm				

As2 no nec!

Armadura necesaria según cálculo

As2:	**0,0 mm²**
As1:	**3927,1 mm²**



3.3.- Armadura Cortante (ELU)

Dimensionamiento a cortante CE

Armadura longitudinal As1 a disponer:	Φ	25	cada	10,0 cm		
Cuantía As1:	4908,74 mm^2					
B:	1000 mm					
H:	800 mm					
recubrimiento:	50 mm					
d:	737,50 mm					
d':	62,50 mm					
F_{ck}:	25,00 MPa				F_{yk}:	500 MPa
γ:	1,50				γ:	1,15
F_{cd}:	16,67 MPa				F_{yd}:	434,78 MPa
E_c:	27264 MPa				E_s:	200000 MPa
F_{ct}:	2,56 MPa					
Nd:	0,00 KN			Nd > 0 trac.		
Vd:	377,07 KN					
α:	90,0 °					
Θ:	45,0 °					
K:	1,00					
Pieza con $A\alpha$:	1 (1=si;0=no)					
Vu1:	**8850 KN**			**Vu1>Vd ok!**		
ζ:	1,5208					
ρ:	6,66E-03					
Vcu:	**687,2 KN**					
Vsu:	**0,00 KN**			**Vcu>Vd ok!**		
$A\alpha$:	**0,0 mm^2**			**/m**		
n:	0					
$\Phi\alpha$:	0 mm					
st:	**0,00 m**					

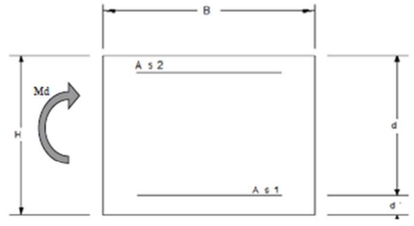
Finalmente se dispone

0 cercos pml Φ 0 a 0 cm

3.4.- Fisuración en ELS

Comprobación de ancho de fisura CE

Armadura As1 a disponer:	Φ	25	cada	10,0 cm	Armadura As2 a disponer:	Φ	0	cada	20 cm
	+	0	cada	10,0 cm		+	0	cada	10 cm
diámetro:	25 mm		+	0 mm	B:	1000 mm			
recubrimiento:	40 mm				H:	800 mm			
separación:	100 mm		+	100 mm					
$A_{c,ef}$:	200000,00 mm^2				w_{lim}:	0,40 mm			
$A_{s,ef}$:	4908,74 mm^2								
F_{ck}:	25,00 MPa				F_{yk}:	500 Mpa			
γ:	1,50				γ:	1,15			
F_{cd}:	16,67 MPa				F_{yd}:	434,78 Mpa			
E_c:	27264 MPa				E_s:	200000 Mpa			
F_{ct}:	2,56 MPa								
					xs:	747,5 mm			
As1:	4908,74 mm^2				As:	4908,73852 mm^2			
As2:	0 mm^2				Is:	0 mm^4			
N:	-121,00 KN			N > 0 trac.					
M:	856,56 KNm								
$\varepsilon 1$:	1,713E-04								
$\varepsilon 2$:	0,000E+00								
constante K1:	0,125								
M_{fs}:	273,60 KNm								
sm:	**150,93 mm**								
constante K2:	0,50								
d:	747,50 mm								
d':	52,50 mm								
σ s:	267,15 MPa								
σ sr:	68,56 MPa								
ε sm:	1,29E-03								
w:	**0,3314 mm**			**≤ 0,40 mm VÁLIDO**					



4. Cálculo armadura vertical y de cortante necesaria en sección B-B' (z=6,30m profundidad)

4.1.-Cálculo esforços en ELU

Mk	**275,05 kN·m/ml**
Md	**371,32 kN·m/ml**
Vk	**130,98 kN/ml**
Vd	**176,82 kN/ml**

4.2.- Armadura Flexión (ELU)

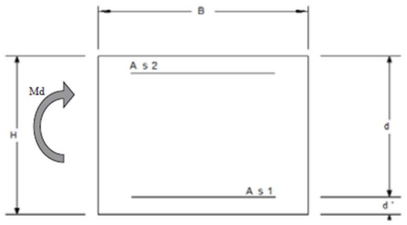
Dimensionamiento a flexión CE

Armadura As1 a disponer:	Φ	25	cada	10,0 cm	
Armadura As2 a disponer:	Φ	16	cada	20,0 cm	
Cuantía As1:	4908,74 mm^2		Cuantía mín As1:	360 mm^2	
Cuantía As2:	1005,31 mm^2		Cuantía mín As2:	108 mm^2	
B:	1000 mm				
H:	400 mm				
recubrimiento:	50 mm				
d:	337,50 mm				
d':	62,50 mm				
F_{ck}:	25,00 MPa				F_{yk}: 500 MPa
γ:	1,50				γ: 1,15
F_{cd}:	16,67 MPa				F_{yd}: 434,78 MPa
E_c:	27264 MPa				E_s: 200000 MPa
F_{ct}:	2,56 MPa				
x lim:	208,19 mm				
y lim:	166,55 mm				
M lim:	599,84 KNm				
Md:	371,32 KNm				

As2 no nec!

Armadura necesaria según cálculo

As2:	**0,0 mm^2**
As1:	**2917,5 mm^2**



4.3.- Armadura Cortante (ELU)

Dimensionamiento a cortante CE

Armadura longitudinal As1 a disponer:	Φ	25	cada	10,0 cm	
Cuantía As1:	4908,74 mm^2				
B:	1000 mm				
H:	400 mm				
recubrimiento:	50 mm				
d:	337,50 mm				
d':	62,50 mm				
F_{ck}:	25,00 MPa				F_{yk}: 500 MPa
γ:	1,50				γ: 1,15
F_{cd}:	16,67 MPa				F_{yd}: 434,78 MPa
E_c:	27264 MPa				E_s: 200000 MPa
F_{ct}:	2,56 MPa				
Nd:	0,00 KN			Nd > 0 trac.	
Vd:	176,82 KN				
α:	90,0 °				
Θ:	45,0 °				
K:	1,00				
Pieza con $A\alpha$:	1 (1=si;0=no)				
Vu1:	**4050 KN**			**Vu1>Vd ok!**	
ζ:	1,7698				
ρ:	1,45E-02				
Vcu:	**474,9 KN**				
Vsu:	**0,00 KN**			**Vcu>Vd ok!**	
$A\alpha$:	**0,0 mm^2**			**/m**	
n:	0				
$\Phi\alpha$:	0 mm				
st:	**0,00 m**				

Finalmente se dispone

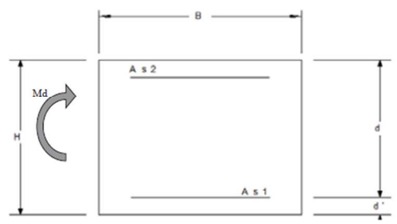
0 cercos pml Φ 0 a 0 cm

4.4.- Fisuración en ELS

Comprobación de ancho de fisura CE

Armadura As1 a disponer:	Φ	25	cada	10,0 cm	Armadura As2 a disponer:	Φ	16	cada	20 cm
	+	0	cada	10,0 cm		+	0	cada	10 cm

diámetro:	25 mm	+	0 mm	B:	1000 mm
recubrimiento:	40 mm			H:	400 mm
separación:	100 mm	+	100 mm		
$A_{c,ef}$:	100000,00 mm^2			w_{lim}:	0,40 mm
$A_{s,ef}$:	4908,74 mm^2				
F_{ck}:	25,00 MPa			F_{yk}:	500 Mpa
γ:	1,50			γ:	1,15
F_{cd}:	16,67 MPa			F_{yd}:	434,78 Mpa
E_c:	27264 MPa			E_s:	200000 Mpa
F_{ct}:	2,56 MPa				
				xs:	296,6 mm
As1:	4908,74 mm^2			As:	5914,04817 mm^2
As2:	1005 mm^2			Is:	72618892,3 mm^4
N:	-63,00 KN		N > 0 trac.		
M:	275,05 KNm				
$\varepsilon 1$:	3,251E-04				
$\varepsilon 2$:	0,000E+00				
constante K1:	0,125				
M_{fs}:	68,40 KNm				
sm:	**125,46 mm**				
constante K2:	0,50				
d:	347,50 mm				
d':	52,50 mm				
σ s:	*190,91 MPa*				
σ sr:	*41,28 MPa*				
ε sm:	9,32E-04				
w:	0,1988 mm	≤	0,40 mm	VÁLIDO	



5. Acciones (para cálculo armadura horizontal y cortante)

5.1 *Empuje activo de tierras*

Descrito en apartado 2.1

5.2 *Cálculo de esfuerzos en la sección A-A'*

Para la sección A-A' se considera H=9,2m, y ancho de pared 0,80m.
Para el cálculo de la armadura horizontal de las paredes de la arqueta se modeliza un metro de altura de pared según una viga biempotrada con carga (q) repartida uniformemente en toda ella de valor igual a las tensiones horizontales generadas por el empuje activo del terreno a Zm de profundidad.

σ'a = = ka * γ * H

σ'a = = ka * γ * H = 0,33 * 20KN/m3 * 6,3m = 41,58KN/m2

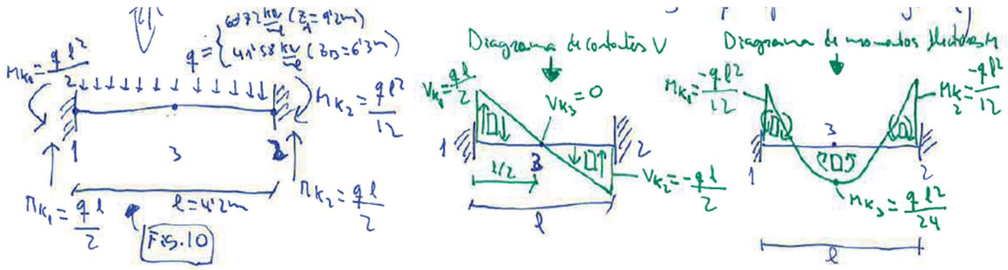
σ'a = = ka * γ * H = 0,33 * 20KN/m3 * 9,2m = 60,72KN/m2

con carga repartida uniforme:

$$q = \frac{Ka * \ \gamma * H}{1ml\ longitud\ horizontal} = \frac{41{,}58\frac{KN}{ml}\ long\ vertical}{1ml\ long\ horizontal} = 41{,}58\ KN/ml$$

$$q = \frac{Ka * \ \gamma * H}{1ml\ longitud\ horizontal} = \frac{60{,}72\frac{KN}{ml}\ long\ vertical}{1ml\ long\ horizontal} = 60{,}72\ KN/ml$$

Se considera el lado de 4,20m de longitud por ser el lado que genera esfuerzos más elevados, a mayor longitud mayor esfuerzo. El modelo equivalente sería una viga biempotrada y con carga q repartida uniformemente:



Con esto el momento flector mas elevado se genera en los 2 extremos de la pared de 4,2m (zonas empotradas lateralmente) y es de valor:

$$Mk = \frac{q * \ l^2}{12} = \frac{60{,}72 * 4{,}20m}{12} = \ 89{,}26\ KNm\ en\ 1m\ longitud\ vertical\ de\ altura\ de\ pared$$

El momento flector de cálculo en E.L.U.

$$Md = \gamma_G * M_k = 1{,}35 * 89{,}26 = \frac{120{,}5\ KNm}{1ml\ long\ vertical}$$

$$\gamma_G = 1.35\ (coeficiente\ de\ seguridad\ de\ la\ acción\ permanente\ del\ empuje\ de\ tierras\ el\ cual\ es\ acción\ permanente\ y\ desfavorable)$$

El momento flector de cálculo Md = 120,5 KNm/1ml se usará para el cálculo en E.L.U. de la armadura horizontal de las 4 paredes de la arqueta al ser éste el más elevado en el intervalo (z=9,2m; 6,3m) y ancho de pared = 0,8m.

El esfuerzo cortante más alto se genera en los 2 extremos de la pared de 4,2m (zonas empotradas) y es de valor:

$$Vk = q * \frac{l}{2} = \frac{60{,}72\frac{KN}{ml} * 4{,}2m}{2} = 255{,}02\frac{KN}{en\ 1\ ml\ de\ longitud\ vertical\ de\ pard}$$

El esfuerzo cortante de cálculo en E.L.U. es:

$$Vd = \gamma_G * V_k = 1{,}35 * 255{,}02 = 344{,}28\ KN/1mlongitud$$

5.3 Cálculo de esfuerzos en la sección B-B'

Para la sección B-B' se considera H=6,3m, y ancho de pared 0,40m. Y se sigue con el mismo razonamiento que en el punto 5.2. Por lo tanto:

$$Mk = \frac{q * l^2}{12} = \frac{41{,}58 * 4{,}20^2 m}{12} = 61{,}12\ KNm\ en\ 1m\ longitud\ vertical\ de\ altura\ de\ pared$$

$$Md = \gamma_G * M_k = 1{,}35 * 61{,}12 = \frac{82{,}52\ KNm}{1ml\ long\ vertical}$$

El momento flector de cálculo (Md=82,52KNm/1ml) será el que servirá para calcular en E.L.U. la armadura horizontal de las 4 paredes de la arqueta en el intervalo de profundidades z=(0,6,3)m, ancho de pared 0,40m.

También siguiendo el mismo razonamiento del apartado 5.2 tenemos que para $z_B = 6{,}30m$

$$Vk = q * \frac{l}{2} = \frac{41{,}58\frac{KN}{ml} * 4{,}2m}{2} = 87{,}32\frac{KN}{en\ 1\ ml\ de\ longitud\ vertical\ de\ pared}$$

El esfuerzo cortante de cálculo en E.L.U. es:

$$Vd = \gamma_G * V_k = 1{,}35 * 87{,}32 = 117{,}88\ KN/1mlongitud$$

6.-Cálculo armadura horizontal y de cortante necesaria en sección A-A' (z=9,2m profundidad)

6.1.-Cálculo esfuerzos en ELU

Mk	**89,26 kN·m/ml**
Md	**120,50 kN·m/ml**
Vk	**255,02 kN/ml**
Vd	**344,28 kN/ml**

6.2.- Armadura Flexión (ELU)

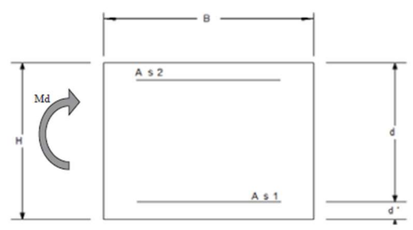
Dimensionamiento a flexión CE

Armadura As1 a disponer:	Φ	16	cada	20,0 cm	
Armadura As2 a disponer:	Φ	0	cada	20,0 cm	
Cuantía As1:	1005,31 mm^2		Cuantía mín As1:	720 mm^2	
Cuantía As2:	0,00 mm^2				
B:	1000 mm				
H:	800 mm				
recubrimiento:	50 mm				
d:	742,00 mm				
d':	58,00 mm				
F_{ck}:	25,00 MPa			F_{yk}:	500 MPa
γ:	1,50			γ:	1,15
F_{cd}:	16,67 MPa			F_{yd}:	434,78 MPa
E_c:	27264 MPa			E_s:	200000 MPa
F_{ct}:	2,56 MPa				
x lim:	457,71 mm				
y lim:	366,17 mm				
M lim:	2899,30 KNm				
Md:	120,50 KNm				

As2 no nec!

Armadura necesaria según cálculo

As2:	**0,0 mm^2**
As1:	**376,5 mm^2**



6.3.- Armadura Cortante (ELU)

Dimensionamiento a cortante CE

Armadura longitudinal As1 a disponer:	Φ	16	cada	20,0 cm	
Cuantía As1:	1005,31 mm^2				
B:	1000 mm				
H:	800 mm				
recubrimiento:	50 mm				
d:	742,00 mm				
d':	58,00 mm				
F_{ck}:	25,00 MPa			F_{yk}:	500 MPa
γ:	1,50			γ:	1,15
F_{cd}:	16,67 MPa			F_{yd}:	434,78 MPa
E_c:	27264 MPa			E_s:	200000 MPa
F_{ct}:	2,56 MPa				
Nd:	0,00 KN		Nd > 0 trac.		
Vd:	344,28 KN				
α:	90,0 °				
Θ:	45,0 °				
K:	1,00				
Pieza con Aα:	1 (1=si;0=no)				
Vu1:	**8904 KN**		**Vu1>Vd ok!**		
ζ:	1,5192				
ρ:	1,35E-03				
Vcu:	**406,3 KN**				
Vsu:	**0,00 KN**		**Vcu>Vd ok!**		
Aα:	**0,0 mm^2**		**/m**		
n:	0				

Φα:	0 mm	
st:	0,00 m	

Finalmente se dispone

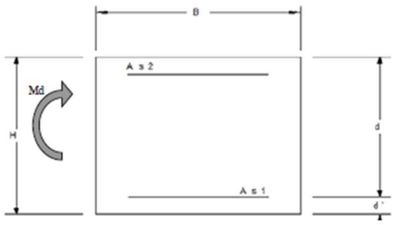
0 cercos pml Φ 0 a 0 cm

6.4.- Fisuración en ELS

Comprobación de ancho de fisura CE

Armadura As1 a disponer:	Φ	16	cada	20,0 cm		Armadura As2 a disponer:	Φ	0	cada	20 cm
	+	0	cada	10,0 cm			+	0	cada	10 cm

diámetro:	16 mm	+	0 mm	B:	1000 mm
recubrimiento:	40 mm			H:	800 mm
separación:	200 mm	+	100 mm		
$A_{c,ef}$:	200000,00 mm²			w_{lim}:	0,40 mm
$A_{s,ef}$:	1005,31 mm²				
F_{ck}:	25,00 MPa			F_{yk}:	500 Mpa
γ:	1,50			γ:	1,15
F_{cd}:	16,67 MPa			F_{yd}:	434,78 Mpa
E_c:	27264 MPa			E_s:	200000 Mpa
F_{ct}:	2,56 MPa				
				xs:	752,0 mm
As1:	1005,31 mm²			As:	1005,30965 mm²
As2:	0 mm²			Is:	0 mm⁴
N:	0,00 KN		N > 0 trac.		
M:	89,26 KNm				
ε1:	3,069E-05				
ε2:	0,000E+00				
constante K1:	0,125				
M_{fis}	273,60 KNm				
sm:	279,15 mm				
constante K2:	0,50				
d:	752,00 mm				
d':	48,00 mm				
σ s:	*147,59 MPa*				
σ sr:	*452,38 MPa*				
ε sm:	2,95E-04				
w:	0,0000 mm	≤	0,40	mm	VÁLIDO



Mk es menor que Mfis por tanto no existe fisuración

7.-Cálculo armadura horizontal y de cortante necesaria en sección B-B' (z=6,3m profundidad)

7.1.-Cálculo esforços en ELU

Mk	**61,12 kN·m/ml**
Md	**82,51 kN·m/ml**
Vk	**87,32 kN/ml**
Vd	**117,88 kN/ml**

7.2.- Armadura Flexión (ELU)

Dimensionamiento a flexión CE

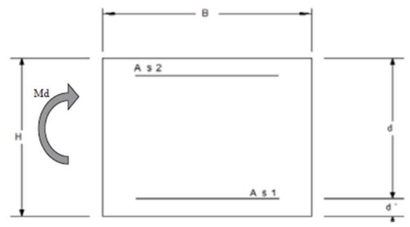
Armadura As1 a disponer:	Φ	16	cada	20,0 cm		
Armadura As2 a disponer:	Φ	16	cada	20,0 cm		
Cuantía As1:	1005,31 mm²				Cuantía mín As1:	360 mm²
Cuantía As2:	1005,31 mm²				Cuantía mín As2:	108 mm²

B:	1000 mm		
H:	400 mm		
recubrimiento:	50 mm		
d:	342,00 mm		
d':	58,00 mm		
F_{ck}:	25,00 MPa	F_{yk}:	500 MPa
γ:	1,50	γ:	1,15
F_{cd}:	16,67 MPa	F_{yd}:	434,78 MPa
E_c:	27264 MPa	E_s:	200000 MPa
F_{ct}:	2,56 MPa		
x lim:	210,97 mm		
y lim:	168,77 mm		
M lim:	615,94 KNm		
Md:	82,51 KNm		

As2 no nec!

Armadura necesaria según cálculo

As2:	**0,0 mm²**
As1:	**569,5 mm²**



15

7.3.- Armadura Cortante (ELU)

Dimensionamiento a cortante CE

Armadura longitudinal As1 a disponer:	Φ	16	cada	20,0 cm	
Cuantía As1:	1005,31 mm^2				
B:	1000 mm				
H:	400 mm				
recubrimiento:	50 mm				
d:	342,00 mm				
d':	58,00 mm				
F_{ck}:	25,00 MPa			F_{yk}:	500 MPa
γ:	1,50			γ:	1,15
F_{cd}:	16,67 MPa			F_{yd}:	434,78 MPa
E_c:	27264 MPa			E_s:	200000 MPa
F_{ct}:	2,56 MPa				
Nd:	0,00 KN		Nd > 0 trac.		
Vd:	117,88 KN				
α:	90,0 °				
Θ:	45,0 °				
K:	1,00				
Pieza con $A\alpha$:	1 (1=si;0=no)				
Vu1:	**4104 KN**		**Vu1>Vd ok!**		
ζ:	1,7647				
ρ:	2,94E-03				
Vcu:	**281,6 KN**				
Vsu:	**0,00 KN**		**Vcu>Vd ok!**		
$A\alpha$:	**0,0 mm^2**		**/m**		
n:	0				
$\Phi\alpha$:	0 mm				
st:	**0,00 m**				

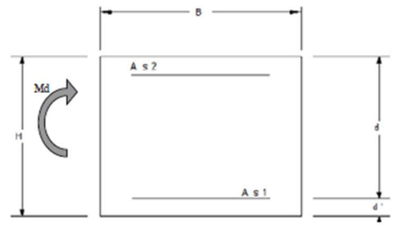
Finalmente se dispone

0 cercos pml Φ 0 a 0 cm

7.4.- Fisuración en ELS

Comprobación de ancho de fisura CE

Armadura As_1 a disponer:	Φ	16	cada	20,0 cm	Armadura As_2 a disponer:	Φ	16	cada	20 cm
	+	0	cada	10,0 cm		+	0	cada	10 cm
diámetro:	16 mm		+	0 mm	B:	1000 mm			
recubrimiento:	40 mm				H:	400 mm			
separación:	200 mm		+	100 mm					
$A_{c,ef}$:	100000,00 mm^2				w_{lim}:	0,40 mm			
$A_{s,ef}$:	1005,31 mm^2								
F_{ck}:	25,00 MPa				F_{yk}:	500 Mpa			
γ:	1,50				γ:	1,15			
F_{ctd}:	16,67 MPa				F_{yd}:	434,78 Mpa			
E_c:	27264 MPa				E_s:	200000 Mpa			
F_{ct}:	2,56 MPa								
					xs:	200,0 mm			
As1:	1005,31 mm^2				As:	2010,6193 mm^2			
As2:	1005 mm^2				Is:	46453348,3 mm^4			
N:	0,00 KN			N > 0 trac.					
M:	61,12 KNm								
ε_1:	8,407E-05								
ε_2:	0,000E+00								
constante K1:	0,125								
M_{fis}	68,40 KNm								
sm:	**199,58 mm**								
constante K2:	0,50								
d:	352,00 mm								
d':	48,00 mm								
σ_s:	*215,90 MPa*								
σ_{sr}:	*241,61 MPa*								
ε' sm:	**4,32E-04**								
w:	**0,0000 mm**			**≤**	**0,40**	**mm**	**VÁLIDO**		



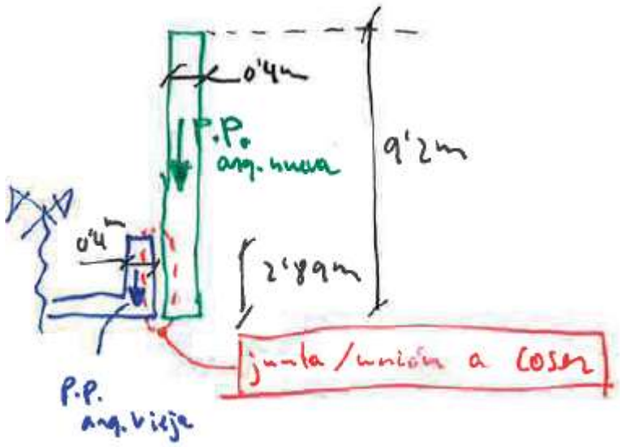
Mk es menor que Mfis por tanto no existe fisuración

8. Cosido entre arqueta existente y arqueta recrecida (resistencia a esfuerzo rasante entre juntas de hormigón)

Se debe coser/unir los 2,9m de altura de la arqueta existente con las 4 paredes de la nueva arqueta.

Esta unión entre hormigones de distinta edad debe de cumplir el Estado Límite a esfuerzo rasante producida por la solicitación tangencial a la que ser ve sometida dicha junta entre hormigones.

Esta solicitación será la diferencia de cargas verticales a los que se ve sometida la unió. Las cargas verticales serán el peso proporcional de las paredes estas arquetas.



Peso propio arqueta nueva = $\frac{25kn}{m3} * \frac{9{,}2m*0.4m*1m}{1ml} = \frac{92KN}{1ml}\, longitud\ horitzontal$

Peso propio arqueta existente = $\frac{25kn}{m3} * \frac{2{,}89m*0.4m*1ml}{1ml} = \frac{28{,}9K}{1ml}\, longitud\ horitzontal$

La tensión rasante de cálculo Zr,d es de valor:

Zr,d = $\frac{Fr,d}{P*d} = \frac{diferencia\ de\ pesos\ propios}{P*d} = \frac{85{,}185\ KN/ml}{\frac{2{,}89m2}{ml}*2{,}89} = 10{,}2\frac{KN}{m2}\, en\ 1ml\ de\ longitud\ horizontal\ de\ pared$

Peso propio característico = 63,1 KN/m por 1ml de longitud horizontal

Fr,d característico = 1,35 * 63,1 =85,185KN/m por 1ml de longitud horizontal

Hay que cumplir E.L.U.

Zr,d = $10{,}2\frac{KN}{m2}\, en\ 1ml\ de\ longitud\ horizontal\ de\ pared \leq$ Zr,u

Siendo Zr,u la tensión rasante de agotamiento correspondiente al estado límite último de resistencia a esfuerzo rasante en el pano de la junta. Como vamos a colocar armadura de cosido en la junta, nuestra sección tendrá armadura transversal. Luego Zr, u será según la siguiente formulación:

Secciones con $\tau_{r,d} \leq 2{,}5\beta\left(1{,}30-0{,}30\frac{f_{ck}}{25}\right)f_{ctd}$ ← CASO A

La tensión rasante de agotamiento $\tau_{r,u}$ tiene como valor

$$\tau_{r,u} = \beta\left(1{,}30-0{,}30\frac{f_{ck}}{25}\right)f_{ctd} + \left(\frac{A_{st}}{sp} f_{yv,d}(\mu\, sen\alpha + \cos\alpha) + \mu\,\sigma_{cd}\right) \leq 0{,}25\, f_{cd}$$

donde:

- f_{ck} Resistencia característica a compresión del hormigón más débil de la junta.
- f_{ctd} Resistencia de cálculo a tracción del hormigón más débil de la junta.
- A_{st} Sección de las barras de acero, eficazmente ancladas, que cosen la junta.
- s Separación de las barras de cosido según el plano de la junta.
- p Superficie de contacto por unidad de longitud. No se extenderá a zonas donde el ancho de paso sea inferior a 20 mm o al diámetro máximo del árido, o con un recubrimiento inferior a 30 mm.
- $f_{yv,d}$ Resistencia de cálculo de las armaduras transversales en N/mm² (≯ 400N/mm²).
- α Ángulo formado por las barras de cosido con el plano de la junta. No se dispondrán armaduras con $\alpha > 135°$ ó $\alpha < 45°$.
- σ_{cd} Tensión externa de cálculo normal al plano de la junta. $\sigma_{cd} > 0$ para tensiones de compresión. (Si $\sigma_{cd} < 0$, $\beta\ f_{ctd} = 0$)

Los valores de β y μ se definen en la tabla

Bajo solicitaciones de fatiga o de tipo dinámico los valores correspondientes a la contribución por cohesión entre hormigones $\beta\,(1{,}30-0{,}30\, f_{ck}/25)\, f_{ctd}$ se reducirán en un 50%.

Cuando existan tracciones normales a la superficie de contacto (por ejemplo, cargas colgadas en la cara inferior de una viga compuesta) la contribución por cohesión entre hormigones se considerará nula ($\beta\ f_{ctd}=0$).

Secciones con $\tau_{r,d} > 2{,}5\beta\left(1{,}30-0{,}30\frac{f_{ck}}{25}\right)f_{ctd}$ ← CASO B

La tensión rasante de agotamiento $\tau_{r,u}$ tiene como valor

$$\tau_{r,u} = \left(\frac{A_{st}}{sp} f_{yv,d}(\mu\, sen\alpha + \cos\alpha) + \mu\,\sigma_{cd}\right) \leq 0{,}25\, f_{cd}$$

Tabla 1 (*)

Valores de los coeficientes β y μ en función del tipo de superficie

		Tipo de superficie	
		Rugosidad baja	Rugosidad alta
β		0,2	0,8
μ	$\tau_{r,d} \leq 2{,}5\beta\left(1{,}30-0{,}30\frac{f_{ck}}{25}\right)f_{ctd}$	0,3	0,6
	$\tau_{r,d} > 2{,}5\beta\left(1{,}30-0{,}30\frac{f_{ck}}{25}\right)f_{ctd}$	0,6	0,9

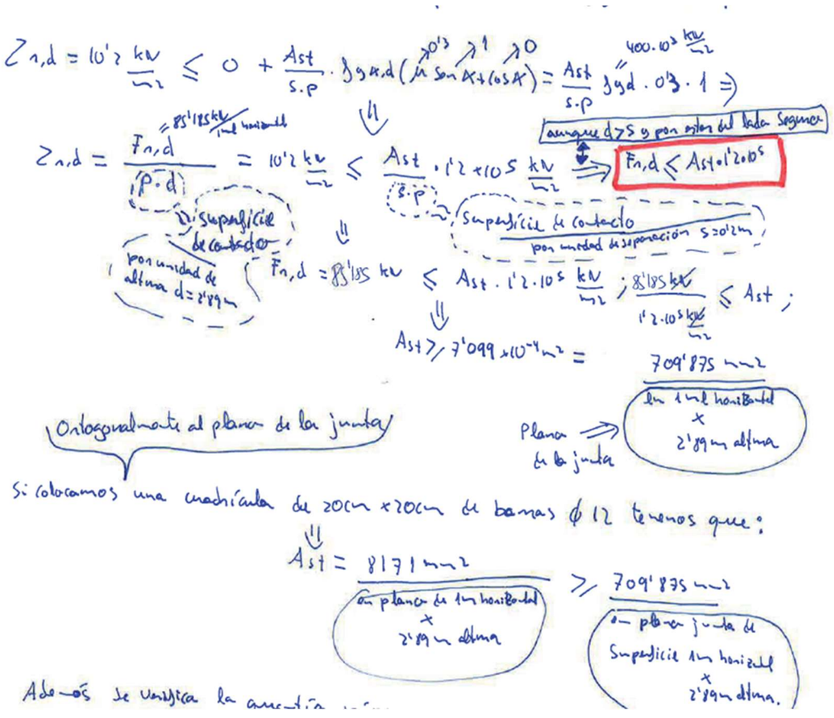
La contribución de la armadura de cosido a la resistencia a rasante de la junta, en la sección de estudio, sólo será contabilizada si la cuantía geométrica de armadura transversal cumple:

$$\frac{A_{st}}{sp} \geq 0{,}001$$

En nuestro caso particular, considerando por seguridad, junta de rugosidad baja (B=0,2), tenemos que:

Zr,d = 10,2Kn/m2 ≤ 2,5 * B * (1,3 – 0,3 * fc,k/25) fct,d = 2,5 * 0,2 * (1,3 – 0,3* 25/25) * 1200 =600KN/m2

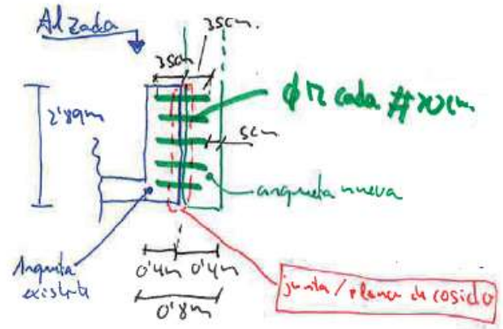
Se debe cumplir Zr,d ≤ Zr,u . Luego se va a encontrar la armadura transversal de cosido, Ast, aplicando la condición anterior.



Además, se unifica la cuantía mínima cumpliendo la siguiendo la expresión:

$$\frac{Ast}{S.p} \geq 0{,}001\ ;\ \frac{8171\ mm2}{200mm * 2890mm} = 0{,}01414\ \geq 0{,}001$$

Colocaremos perpendicularmente al plano de la junta barras de 70cm de largo (ϕ12 cada 20cm horizontales y cada 20cm verticalmente)



9. Anclajes y longitudes de solape

Las longitudes de anclaje (lb) según art. 49 del C.E. serán para:

9.1 Barras corrugadas ϕ16 acero B500S

9.1.a Posición I

*Lb = m * ϕ^2 = 1,5 * 16^2 = 400mm = 40cm = lb*

9.2.b Posición II

Lb = 1,4 m * ϕ^2 = 1,4 * 1,5 * 16^2 = 571,4mm = 58cm = lb*

9.2 Barras corrugadas ϕ25 acero B500S

9.2.a Posición I

*Lb = m * ϕ^2 = 1,5 * 25^2 = 937,5mm = 94cm = lb*

9.2.b Posición II

Lb = 1,4 m * ϕ^2 = 1,4 * 1,5 * 25^2 = 1312,5mm = 132cm = lb*

9.3 Barras corrugadas ϕ12 acero B500S

9.3.a Posición I

*Lb = m * ϕ^2 = 1,5 *12^2 = 216mm ≤ 300mm = 30cm = lb*

9.3.b Posición II

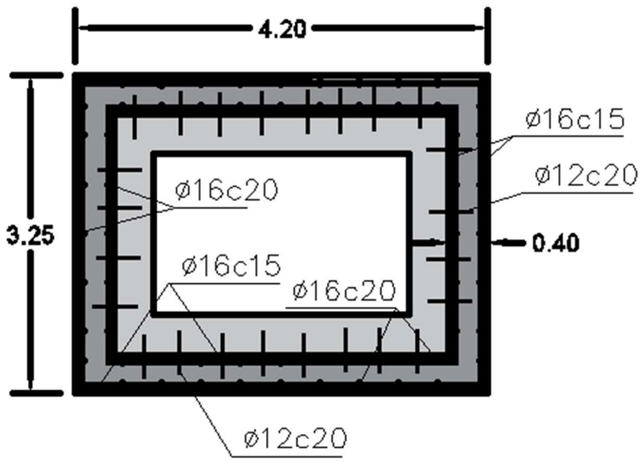
Lb = 1,4 m * ϕ^2 = 1,4 * 1,5 * 12^2 = 302,4mm ≤ 428mm = 43cm = lb*

CUADRO DE CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES SEGÚN EHE

	HORMIGÓN		ACERO
ELEMENTO	TIPOS	DESIGNACIÓN	ARMADURA PASSIVA
	NIV. Y LIMPIEZA	HL-150/B/20	LÍMITE ELÁSTICO
	CIMIENTOS	HA-25/B/20/IIb	500 N/mm²
	ALZADOS	HA-25/B/20/IIb	LÍMITE DE ROTURA
			550 N/mm²
			B 500 S
NIVEL DE CONTROL	INTENSO	MODALIDAD 1	NORMAL
COEFICIENTE	MINORACIÓN γ_c= 1,50		MINORACIÓN γ_s= 1,15

RECUBRIMIENTO: CIMIENTOS 50mm, ALZADOS 50mm
ANCLAJES Y SOLAPES SEGÚN ARTICULO 66 DE LA EHE

DETALLE ARMADO:



APÉNDICE 3: CÁLCULO ESTRUCTURA SOPORTE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

CALCULO ESTRUCTURA PARA SUSTENTACIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como objeto el estudio de la respuesta tensional de la estructura para módulos de hasta 2279 x 1134 mm con una configuración de tubos de largueros de aluminio 6005T6 tipo perfil P36-A. Para la inclinación de los módulos, fijada en 20º, empleamos bastidores compuestos por perfiles de acero galvanizado de perfil C de sección 100x50x2 mm e hincas de perfil C de sección 100x50x3 mm.

Para el cálculo de la estructura se ha empleado la normativa vigente aplicada a la edificación:

UNE-EN-1991_1_4: Cálculo de acciones de viento
UNE-EN-1991-1-3: Cálculo de acciones de nieve

Se calculará la sección de la estructura más solicitada utilizando un programa de cálculo de elementos finitos.

2. HIPOTESIS GENERALES

Los cálculos realizados se basan en las hipótesis de linealidad y pequeños desplazamientos.
Las unidades empleadas han sido:

- Longitudes en milímetros (mm).
- Fuerzas en Newtons (N).
- Tensiones en MegaPascales (MPa).

El método de cálculo empleado es el Método por Elementos Finitos.

3. CARACTERÍSTICAS GENERALES

3.1 Propiedades mecánicas del material

El material empleado en la estructura es:

- Aluminio 6005 con tratamiento térmico T6
  · Módulo de Young: E=69.500 MPa.
  · Coeficiente de Poisson: ν=0,33.
  · Límite Elástico teórico: 225 MPa.

- Acero S-235-JR galvanizado en caliente
  · Módulo de Young: E=210.000 MPa.
  · Coeficiente de Poisson: ν=0,3.
  · Límite Elástico teórico: 235 MPa.

4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

4.1 Modelo 3D

El modelo 3D la estructura SS-HIN-BP se muestra en la Ilustración 1.

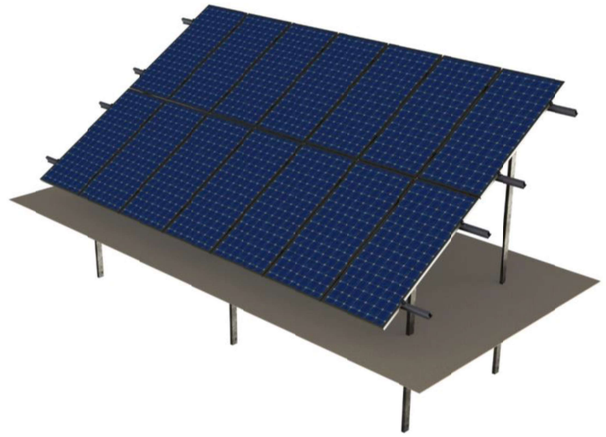


Ilustración 1. Modelo 3D SS-HIN-BP

El perfil modelado equivale a una estructura donde se colocan 14 módulos fotovoltaicos.

Ilustración 2. Modelo 3D SS-HIN-BP Equivalente

4.2 Modelo Elementos Finitos

En el modelo por elementos finitos se han empleado un total de 260605 elementos y 568072 nodos utilizando hexaedros de orden cuadrático.

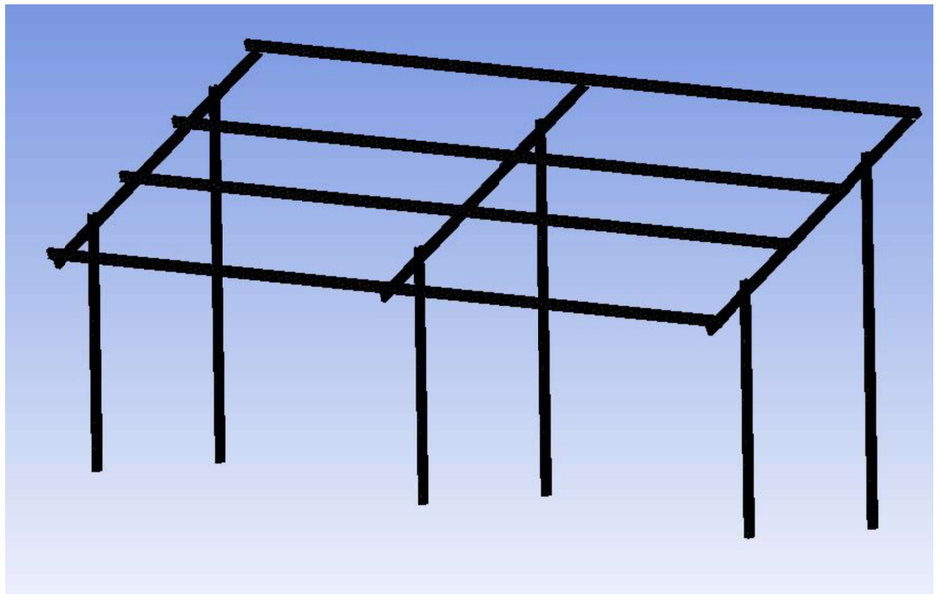


Ilustración 3. Modelo Elementos Finitos

5. CÁLCULO DE ESFUERZOS

5.1 Carga permanente

Como carga permanente se considerarán el peso de los módulos:

$Fp_{modulos} = 110{,}9\ N/m^2$

5.2 Carga viento

Según el CTE DB-SE-AE, la carga de viento q_e, se calcula mediante la fórmula:

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

Dónde, para la zona de considerada, tiene un valor de -1347 N/m^2 para viento de succión y 898 N/m^2 para viento de presión.

Dado que el área tributaria de la estructura consta de 2 zonas, la superior y la inferior, vamos a sustituir la carga distribuida por la carga sobre las barras.

En la Ilustración 4 se muestra la aplicación de estas cargas sobre el perfil.

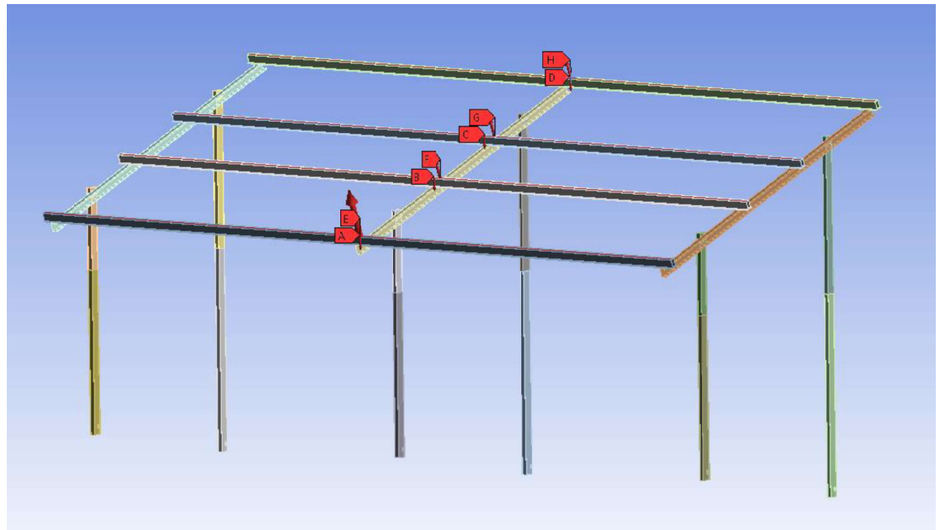


Ilustración 4. Aplicación de carga viento succión + peso de módulos

5.3 Carga de nieve

Según el UNE-EN-1991_1_3, la carga de nieve q_n, se calcula mediante la fórmula:

$$q_n = \mu(\alpha) \cdot s_k(H,ZC)$$

Dónde, para la zona considerada esta toma un valor de:

$$q_n = 700\ N/m^2$$

6. CONDICIONES DE CONTORNO

La unión de la estructura a los soportes se simulará con un empotramiento perfecto en las hincas, la hinca sur irá a una profundidad de 1,58 m mientras que la norte irá a 1,625 m para que así los paneles queden a 0,5 m del terreno aproximadamente.

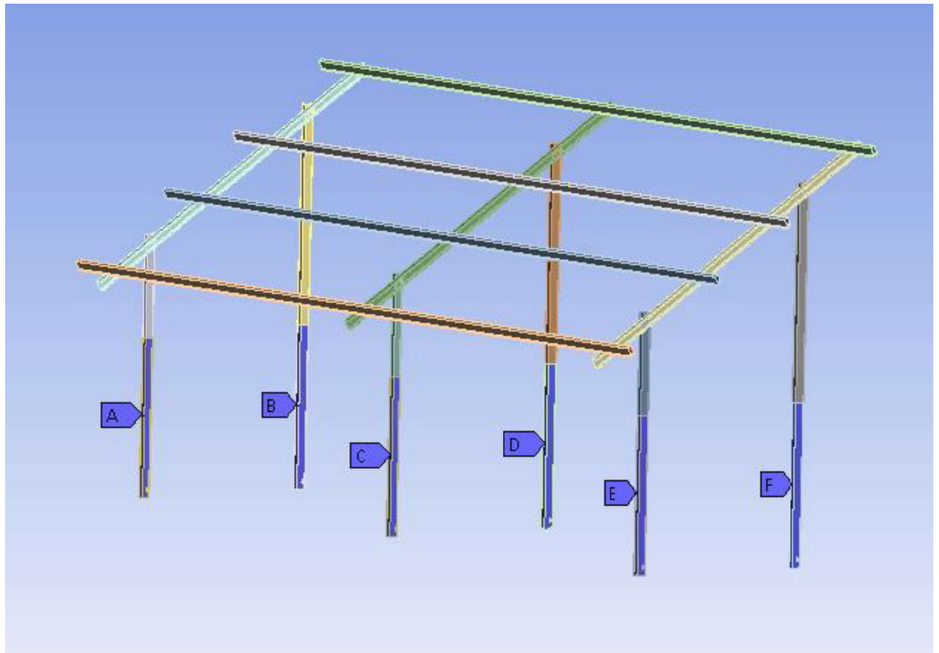


Ilustración 5. Simulación de los empotramientos en el perfil

7. RESULTADOS OBTENIDOS

7.1 Tensión equivalente Von Mises

Tras el cálculo estructural mediante el método de los Elementos Finitos obtenemos, que la tensión equivalente máxima de Von Mises que debe resistir la estructura es de 219 MPa para el acero y 207 MPa para el aluminio en la combinación de viento de succión y peso de las placas, en estado límite último:

*1.5*Viento de succión – 0.8*Peso de las placas*

Para la combinación de viento de presión, nieve y peso de las placas, la tensión equivalente de Von Mises que debe resistir la estructura es de 208 MPa para el acero y 203 MPa para el aluminio en la combinación de viento de presión y nieve + peso de las placas, en estado límite último:

*1.5*Viento de presión + 0.75*Carga de Nieve +1.35*Peso de las placas*

Para la combinación de nieve, viento de presión y peso de las placas, la tensión equivalente de Von Mises que debe resistir la estructura es de 203 MPa para el acero y 199 MPa para el aluminio en la combinación de viento de Nieve, viento de presión y peso de las placas, en estado límite último:

*1.5*Carga de Nieve + 0.9*Viento de Presión +1.35*Peso de las placas*

La hipótesis de cálculo más desfavorable sería la combinación de *Succión - Peso de placas*. Esta tensión tiene su valor por debajo de su límite elástico. Por tanto, según los cálculos, ningún nodo de la estructura sufrirá tensión suficiente para llegar al fallo estático.

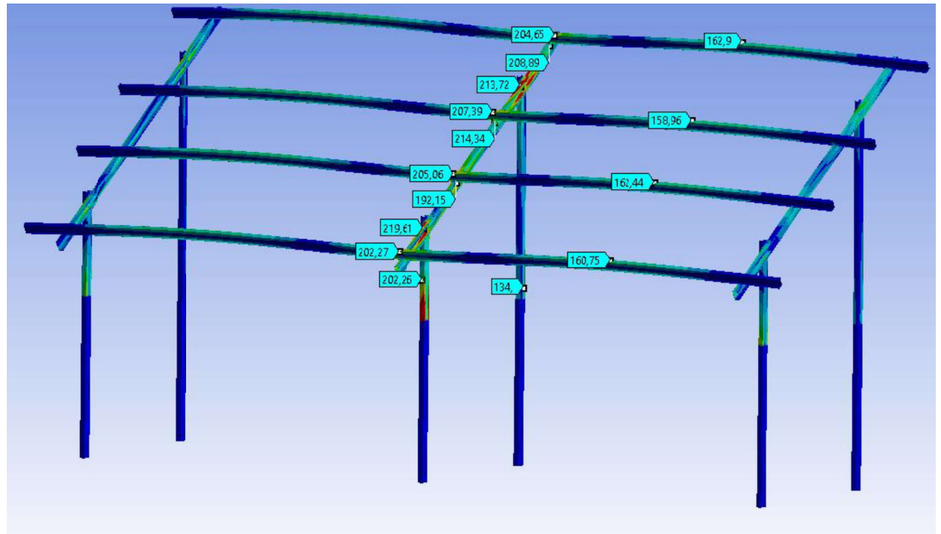
El coeficiente de seguridad frente al límite elástico para el aluminio es de:

$$X_{succión} = LE/\sigma_{max} = 225/207 = 1{,}08$$
$$X_{presión} = LE/\sigma_{max} = 225/203 = 1{,}10$$
$$X_{nieve} = LE/\sigma_{max} = 225/199 = 1{,}14$$

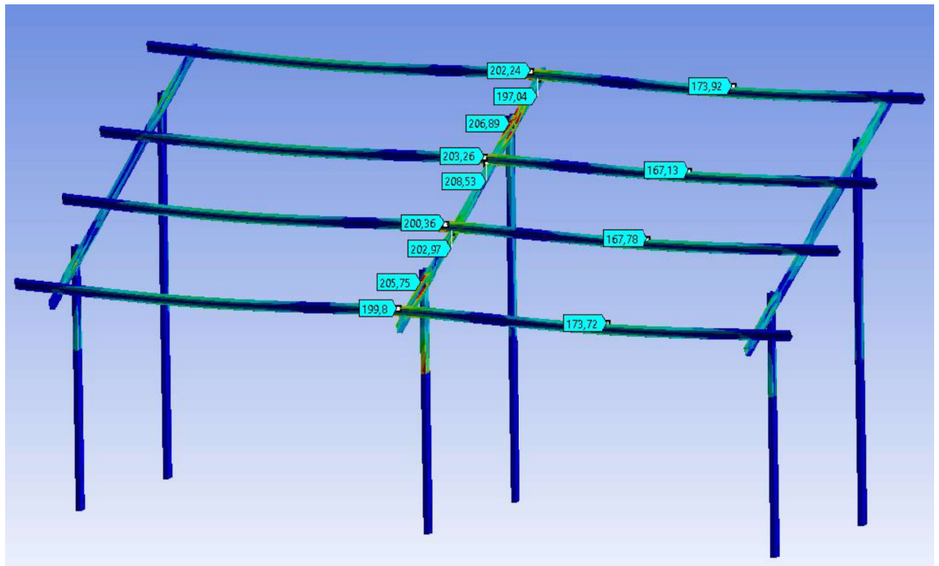
El coeficiente de seguridad frente al límite elástico para el acero es de:

$$X_{succión} = LE/\sigma_{max} = 235/219 = 1{,}07$$
$$X_{presión} = LE/\sigma_{max} = 235/200 = 1{,}13$$
$$X_{nieve} = LE/\sigma_{max} = 235/ = 1{,}15$$

SUCCIÓN:



PRESIÓN:



NIEVE:

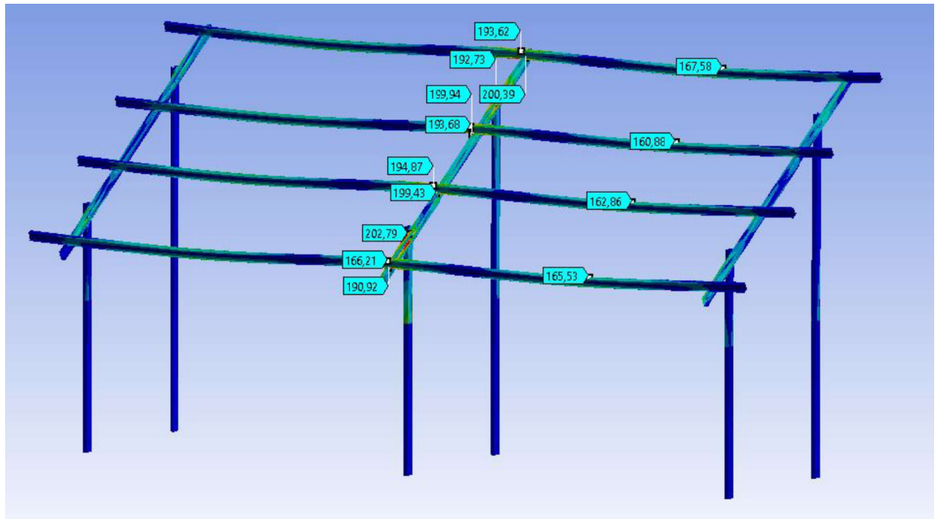


Ilustración 6. Distribución tensión máxima Von Mises

7.2 Deformaciones

En cuanto a deformaciones, la máxima toma el valor de 66 mm, en la zona donde indica la Ilustración 7. Por tanto, se puede concluir que la estructura no sufre deformaciones que revistan importancia para su función.

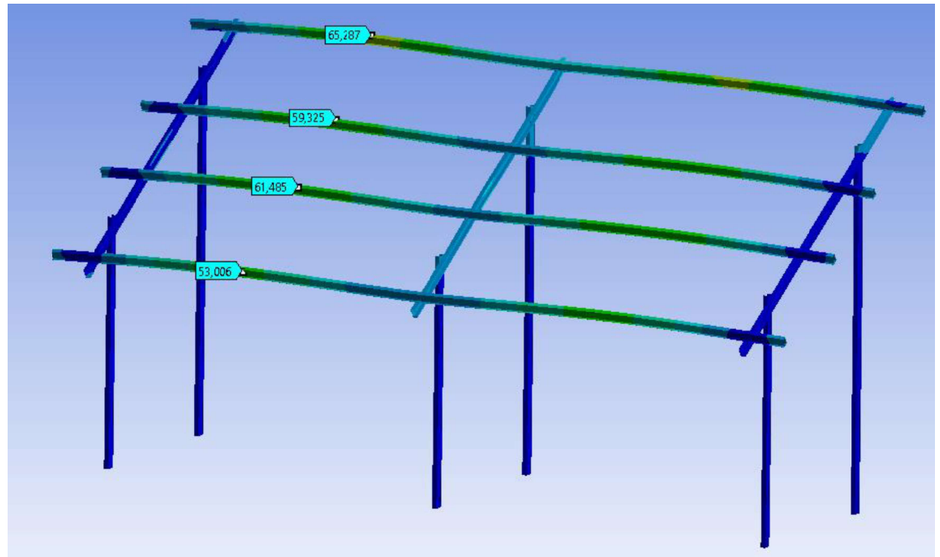


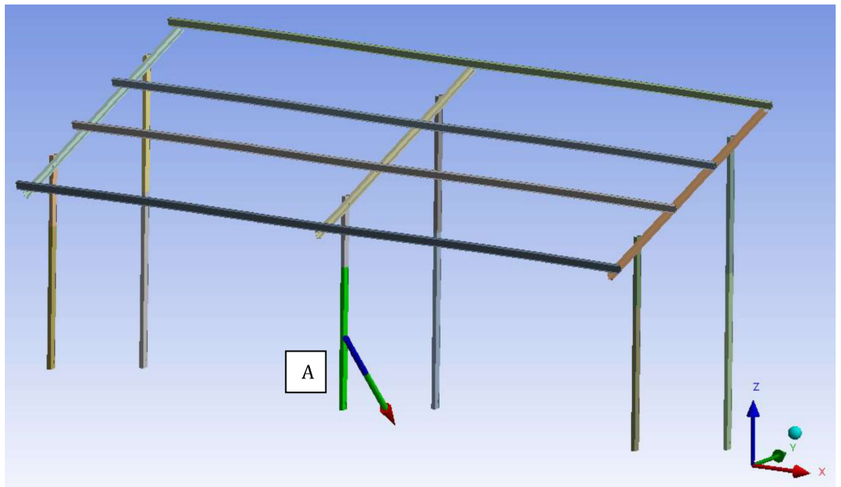
Ilustración 7. Deformación

7.3 Reacciones

Las fuerzas que las acciones climáticas y el propio peso de la estructura ejercen sobre la misma unas fuerzas que derivan en unas reacciones sobre los apoyos y estas repercutirán sobre el báculo previamente instalado.

SUCCIÓN

- RAx = -91 N RAy = 17987 N RAz = -8355 N
- RBx = -12 N RBy = 1659 N RBz = -24416 N



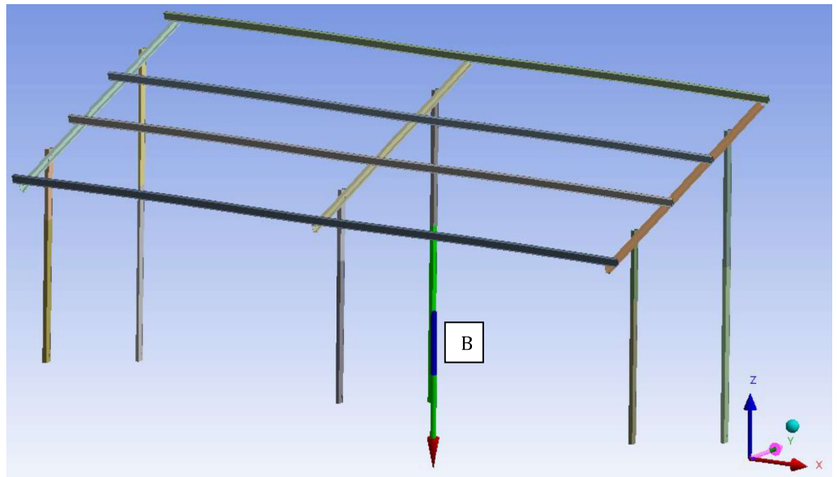


Ilustración 8 - Reacciones en SUCCIÓN

En el empotramiento encontraremos que las reacciones generadas por succión no superan los 24472 N, reacción compuesta de las reacciones mostradas en el apartado *7.3 reacciones*.

ANEXO DE CÁLCULOS

a. Distribución de velocidades

La distribución de velocidades q_e, evaluada a una altura z se calcula con la ecuación siguiente:

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

dónde:

q_b = Presión dinámica del viento (N/m²)

C_e = Coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado

C_p = Coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento

Presión dinámica

$$q_b = 0{,}5 \cdot \delta \cdot V_b^2$$

siendo:

δ = Densidad del aire en general 1,25 Kg/m³ hasta una altura de 200 m.

V_b^2 = Valor básico de la velocidad del viento (29 m/s) obtenido a partir de la Figura D.1

Figura D.1 Valor básico de la velocidad del viento, v_b

Coeficiente de exposición

El coeficiente de exposición C_e para alturas sobre el terreno no mayor de 200 m.

$$c_e = F \cdot (F + 7\,k) \qquad (D.2)$$

$$F = k \ln (\max (z,Z) / L) \qquad (D.3)$$

siendo k, L, Z parámetros característicos de cada tipo de entorno, según la tabla D.2

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

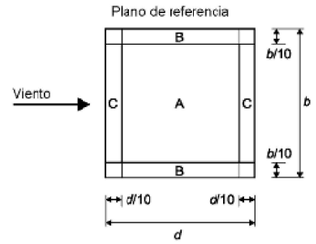
	Grado de aspereza del entorno	Parámetro k	L (m)	Z (m)
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V	Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Coeficiente eólico o de presión

Para obtener los valores característicos del coeficiente de presión, se localizan a partir de la *tabla 7.6 Valores de C_p y C_f para marquesinas a un agua*. Para el cálculo de estructuras fotovoltaicas se emplean estos valores ya que sería la tipología de construcción más semejante a una instalación fotovoltaica.

Tabla 7.6
Valores de $c_{p,net}$ y c_f para marquesinas a un agua

Coeficientes de presión neta $c_{p,net}$



Ángulo de la cubierta α	Bloqueo φ	Coeficiente global de fuerza c_f	Zona A	Zona B	Zona C
0°	Valor máximo para cualquier φ	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2
5°	Valor máximo para cualquier φ	+ 0,4	+ 0,8	+ 2,1	+ 1,3
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 0,7	- 1,1	- 1,7	- 1,8
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,2	- 2,5
10°	Valor máximo para cualquier φ	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 2,1	- 2,6	- 2,7
15°	Valor máximo para cualquier φ	+ 0,7	+ 1,4	+ 2,7	+ 1,8
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 1,1	- 1,8	- 2,4	- 2,5
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
20°	Valor máximo para cualquier φ	+ 0,8	+ 1,7	+ 2,9	+ 2,1
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 1,3	- 2,2	- 2,8	- 2,9
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
25°	Valor máximo para cualquier φ	+ 1,0	+ 2,0	+ 3,1	+ 2,3
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 1,6	- 2,6	- 3,2	- 3,2
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,5	- 2,8
30°	Valor máximo para cualquier φ	+ 1,2	+ 2,2	+ 3,2	+ 2,4
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 1,8	- 3,0	- 3,8	- 3,6
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,2	- 2,7

NOTA – los valores + indican una acción neta en sentido descendente
los valores – indican una acción neta en sentido ascendente

El coeficiente de presión neta representa la presión máxima local para todas las direcciones del viento. Ésta se debería emplear para el cálculo de los elementos de cubierta y fijaciones.

b. Carga de nieve

Las cargas de nieve sobre cubiertas se calculan a partir de la siguiente formula siguiendo el eurocódigo UNE-EN-1991-1-3 2004.

$$q_n = \mu(\alpha) \cdot s_k(H,ZC)$$

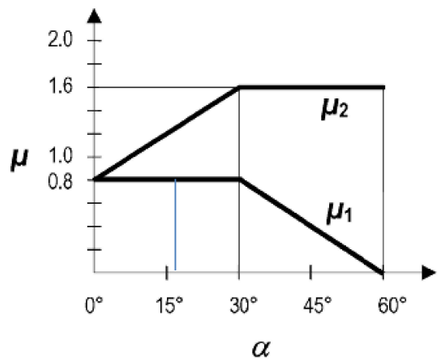
siendo:

$\mu(\alpha)$ = Coeficiente de forma de la carga de nieve.

s_k = Valor característico de la carga de nieve a nivel del terreno.

Coeficiente de forma

El coeficiente de forma viene dado en función de la inclinación de la cubierta. El coeficiente μ_1 se emplea para cubiertas con una sola pendiente.



Valor característico de la carga de nieve a nivel del terreno.

Este valor viene dado a través de la formula localizada en la *tabla C.1 Relación de altitud – carga de nieve.*

Tabla C.1
Relación altitud – carga de nieve

Región climática	*Expresión*
Región Alpina	$s_k = (0{,}642Z + 0{,}009)\left[1 + \left(\frac{A}{728}\right)^2\right]$
Centro Este	$s_k = (0{,}264Z - 0{,}002)\left[1 + \left(\frac{A}{256}\right)^2\right]$
Grecia	$s_k = (0{,}420Z - 0{,}030)\left[1 + \left(\frac{A}{917}\right)^2\right]$
Península Ibérica	$s_k = (0{,}190Z - 0{,}095)\left[1 + \left(\frac{A}{524}\right)^2\right]$
Región Mediterránea	$s_k = (0{,}498Z - 0{,}209)\left[1 + \left(\frac{A}{452}\right)^2\right]$
Centro Oeste	$s_k = 0{,}164Z - 0{,}082 + \frac{A}{966}$
Suecia, Finlandia	$s_k = 0{,}790Z + 0{,}375 + \frac{A}{336}$
Reino Unido, República de Irlanda	$s_k = 0{,}140Z - 0{,}1 + \frac{A}{501}$

s_k es el valor característico de la carga de nieve a nivel del terreno [kN/m^2];

A es la altitud del emplazamiento sobre el nivel del mar [m];

Z es el número de la zona dado en el mapa.

Empleando la formula correspondiente según la región climática donde se localice la instalación, obteniendo los valores de A a partir de los mapas de carga de nieve de cada región.

Península Ibérica: Carga de nieve a nivel del mar

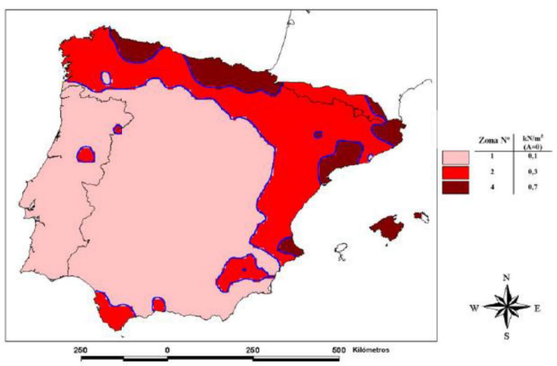


Fig. C.5