

eman la zabal zazu



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

BILBOKO INGENIARITZA ESKOLA ESCUELA DE INGENIERÍA DE BILBAO

INDUSTRIA INGENIARITZA TEKNIKOKO ATALA

SECCIÓN INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL

--

FDO.: FECHA:	FDO.: FECHA:
-----------------	-----------------

3. CÁLCULOS

3.1. INTRODUCCIÓN	1
3.2. HERRAMIENTAS DE CÁLCULO	1
3.3. DATOS DE PARTIDA	2
3.4. JUSTIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES	3
3.5. CÁLCULOS DE LA ESTRUCTURA	7
3.5.1. Acciones sobre la estructura	7
3.5.2. Cubierta	10
3.5.2.1. Peso Propio	10
3.5.2.2. Sobrecarga de Uso	11
3.5.2.3. Sobrecarga de nieve	12
3.5.2.4. Sobrecarga de viento	13
3.5.2.5. Combinaciones	19
3.5.3. Paramentos verticales	23
3.5.3.1. Peso propio	23
3.5.3.2. Sobrecarga de uso	23
3.5.3.3. Sobrecarga de nieve	23
3.5.3.4. Sobrecarga de viento	24
3.5.4. CYPE: Módulo de generador de pórticos	30
3.5.4.1. Características del pórtico	30
3.5.4.2. Datos generales de la obra	32
3.5.4.3. Cálculo de las correas de cubierta	38
3.5.4.3.1. Datos de cálculos	39
3.5.4.3.2. Descripción de correas	40
3.5.4.3.3. Comprobaciones	41
3.5.4.4. Cálculo de las correas laterales	49
3.5.4.4.1. Datos de cálculo	49
3.5.4.4.2. Descripción de correas	49
3.5.4.4.3. Comprobaciones	50
3.5.5. Cálculos en CYPE 3D	58
3.5.5.1. Exportación a CYPE 3D	58
3.5.5.2. Creación de la estructura completa	59
3.5.5.3. Estudio de pandeo	63
3.5.5.4. Introducción del pandeo lateral	67
3.5.5.5. Introducción de flechas	67
3.5.5.6. Estudio de cargas	71
3.5.5.7. Perfiles de las barras	74
3.5.5.7.1. Dinteles	74

3.5.5.7.2. Vigas	121
3.5.5.7.3. Pilares	121
3.5.5.7.4. Pilarillos.....	141
3.5.5.7.5. Arriostramientos	161
3.5.5.8. Uniones.....	166
3.5.5.8.1. Pilar central de pórticos hastiales.....	168
3.5.5.8.2. Pilar central del segundo pórtico	212
3.5.5.8.3. Pilar izquierdo del pórtico hastial.....	265
3.5.5.8.4. Pilar izquierdo del segundo pórtico	293
3.5.5.8.5. Pilarillo.....	332
3.5.5.8.6. Tirante de arriostramiento	351
3.5.5.8.7. Placa de anclaje	356
3.5.5.9. Cimentación	360
3.5.5.9.1. Zapatas	361
3.5.5.9.2. Vigas de atado	398
3.6. SOLERA	405
3.6.1. Diseño de la solera	405
3.7. TABIQUERÍA INTERIOR	406
3.8. FOSA DE PURINES	407
3.8.1. Consideraciones generales.....	408
3.8.2. Diseño del depósito	409
3.8.3. Acciones sobre los depósitos	411
3.8.4. Dimensionamiento de depósitos de planta rectangular	412
3.8.5. Cálculo de las cargas.....	414
3.8.6. Estudio en Prontuario Informático de Hormigón armado.....	415
3.9. FOSA DE ORDEÑO.....	419
3.9.1. Cálculo de las cargas.....	419
3.9.2. Estudio en Prontuario Informático de Hormigón armado.....	421
3.10. REDES DE EVACUACIÓN DE AGUAS	423
3.10.1. Especificación de exigencias.....	423
3.10.2. Componentes de la instalación	424
3.10.3. Criterios de diseño.....	427
3.10.4. Dimensionamiento	428
3.9.4.1. Dimensionado de evacuación de aguas pluviales	428
3.9.4.1. Dimensionado de evacuación de aguas residuales	436

3. CÁLCULOS

3.1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se detallan los cálculos realizados para el dimensionamiento de las diferentes estructuras e instalaciones que forman el proyecto.

El proyecto consta de una estructura principal formada por dos naves adosadas de diferente luz, pero ambas con cubierta a dos aguas.

Además de dicha estructura, se incluye el cálculo de dos fosos excavados, uno de ellos en el interior de la nave y sin almacenamiento en su interior; y el otro en el exterior para el almacenamiento de purines.

Los cálculos se completan con la red de saneamiento, la red de fontanería y la tabiquería.

3.2. HERRAMIENTAS DE CÁLCULO

Para la realización del cálculo de la estructura principal, se ha utilizado el programa **CYPE**.

En primera instancia, se hace uso del módulo Generador de Pórticos, en el cual se define la geometría de la estructura y las cargas que esta soporta. Además, realiza el dimensionamiento de las correas, tanto de cubierta como las de los laterales, optimizando el perfil adecuado y la distancia entre ellas.

A continuación, con la geometría de los pórticos, las cargas y las correas completamente definidas, se procede a la exportación al módulo CYPE 3D. Mediante este programa se realiza el cálculo completo de la estructura, ya que permite la introducción de cargas adicionales, así como la definición de los materiales y todos los parámetros geométricos requeridos. De esta manera, dimensiona todos los perfiles de la estructura, además de las uniones, las placas de anclaje y la cimentación.

Para concluir, se utiliza el programa **Prontuario Informático de Hormigón estructural EHE-08** para realizar el cálculo de los fosos, tanto el exterior como el interior. En ambos casos, se dimensiona la armadura de acero requerida a partir de la geometría, los materiales, la exposición y las cargas existentes.

3.3. DATOS DE PARTIDA

La nave a dimensionar consta de dos espacios diferenciados, por un lado la parte de la estabulación que albergará el ganado vacuno lechero y por otro, la parte destinada al almacenamiento de los alimentos del mismo. Estos dos espacios son contiguos, por lo que se genera una nave adosada. Cabe destacar que ambos espacios disponen de grandes huecos, por lo que se trata de una estabulación semiabierta.

Por otro lado, se disponen dos fosos, uno en el interior que forma parte de la estructura de la sala de ordeño y otro en el exterior de la nave con el objeto de almacenar las deyecciones producidas por el ganado.

Los parámetros de partida considerados son los siguientes:

- Longitud de la nave: 45 m
- Luz libre: 25 m
- Distancia entre pórticos: 5 m, con lo cual habrá 10 pórticos.
- Pendiente del faldón: 17,58%, con lo que: $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{17,58}{100} = 10^\circ$
- Altura de la nave:
 - Altura de la estabulación: 6,67 m
 - Altura del almacén: 5,53 m
- Altura de la fachada lateral: 5 m
- Foso de ordeño:
 - Profundidad: 0,95m
 - Longitud: 5,3m
 - Anchura: 2,5m
- Foso para purines:
 - Profundidad: 4m
 - Longitud: 8m
 - Anchura: 8m

En lo que a las características arquitectónicas se refiere se ha considerado la elección de los siguientes elementos:

El panel escogido para la cubierta es tipo sándwich tapajuntas de 40 mm de espesor con núcleo de poliuretano y para los cerramientos laterales se ha seleccionado un panel metálico auto portante de espuma de poliuretano de 30 mm de espesor.

La nave cuenta en sus fachadas longitudinales y en un tramo de las fachadas frontal y trasera, con un muro de hormigón armado con los pilares embebidos con una altura de 2 m.

La cimentación está formada por zapatas cuadradas o rectangulares, unidas mediante vigas de atado.

3.4. JUSTIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES

En primer lugar, para definir la geometría de la nave (40m de longitud por 25m de anchura), se ha tenido en cuenta el número de cabezas de ganado que debe albergar la estabulación, con sus correspondientes comederos y cubículos. Para ello, únicamente se considera el espacio de estabulación, sin tener en cuenta otras zonas como la sala de ordeño, el pasillo de alimentación o el almacén contiguo. Por lo tanto, la superficie disponible es la siguiente:

$$(37,5 \cdot 15) - (11 \cdot 4,8) = 509,7 \text{ m}^2$$

Teniendo en cuenta que según la normativa cada animal debe disponer de 5 m² de espacio:

$$\text{Capacidad} = \frac{509,7}{5} = 101 \text{ UGM (Unidad de ganado Mayor)}$$

La estabulación tendría capacidad para 101 cabezas de ganado, pero se deben tener en cuenta los cubículos necesarios, uno por cada animal, con 1,5 m de ancho por 2,4 m de largo cada uno de ellos. Además de los comederos, que abarca 1 m de ancho por cada animal.

Los cubículos se disponen de la siguiente manera: 25 unidades en el lateral de la nave, pegados al cerramiento, y 30 unidades dispuestas en dos filas en la zona central de la estabulación.

Los comederos también estarán divididos en dos zonas, 35 unidades en el lateral contiguo al almacén, y dos filas de 10 unidades cada una en la zona central.

Por lo tanto, considerando todos los aspectos anteriores, la estabulación se ha diseñado para albergar 55 cabezas de ganado, con sus correspondientes cubículos y comederos.

En cuanto a los pórticos, se establece una separación de 5 m entre ellos, ya que la separación óptima para este tipo de construcciones está estimada entre 5 y 7 metros.

La altura máxima de la nave es de 6,67 m, por debajo de los límites que establece la normativa urbanística de la zona. Por su parte, la altura del

almacén es de 5,53 m, con la intención de que ambas cubiertas dispongan de la misma pendiente, siempre siendo suficiente para que permita la entrada de vehículos de descarga de bajo tonelaje. Dichas alturas, se han definido con la intención de que la pendiente de ambos faldones no supere el 20%, obteniendo un valor habitual en este tipo de construcciones. De tal manera que no exista una excesiva exposición ante la acción del viento que es más crítica que la acción de la nieve en esta zona.

El almacén se ha diseñado considerando la capacidad estimada necesaria que es de unos 250 m², y la entrada y salida de vehículos agrícolas, que se encargan del traslado de los alimentos hasta los comederos, por lo que sus dimensiones son de 6 x 45 m.

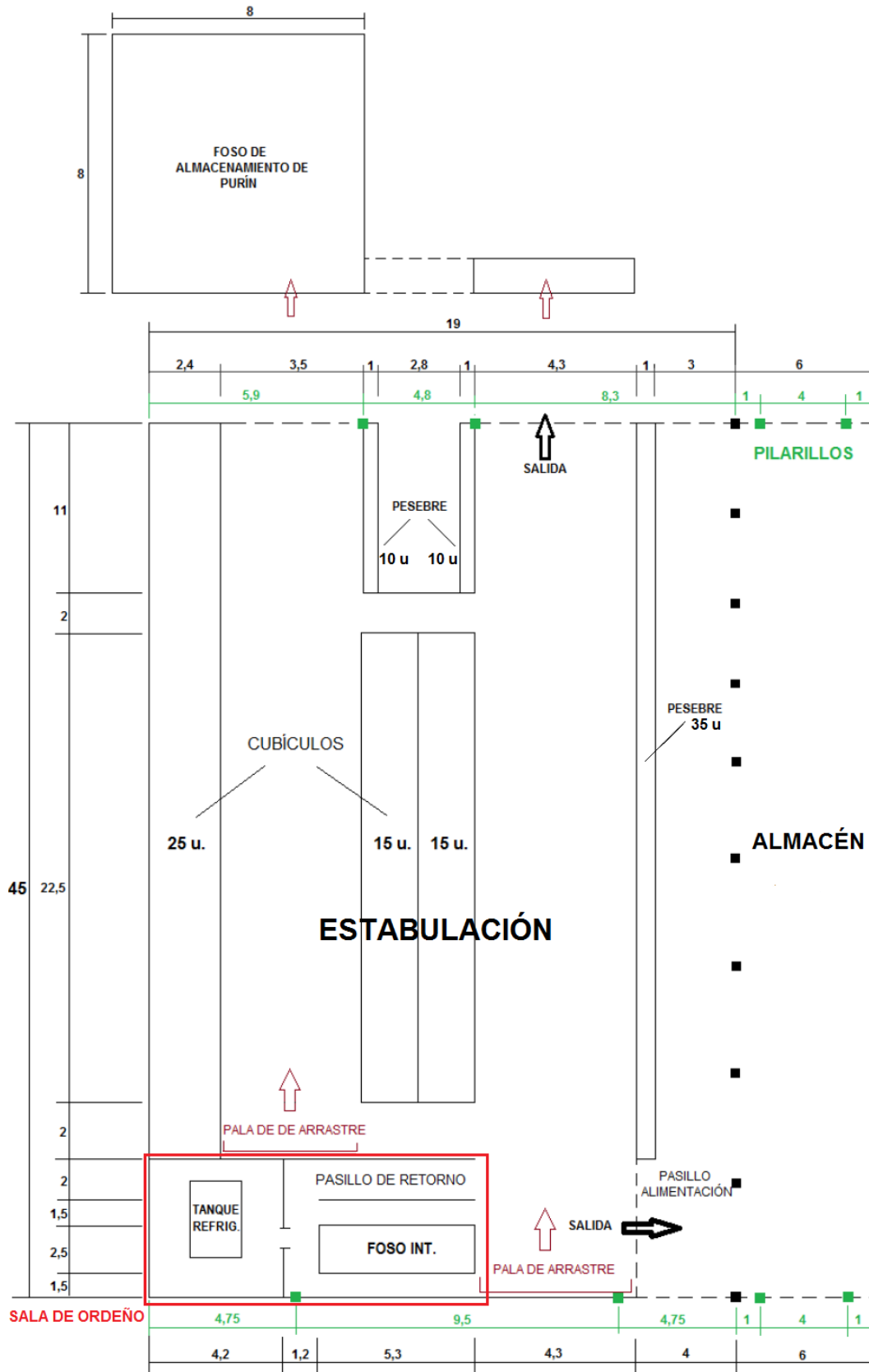


Fig 1. Planta nave.

La fosa interior de ordeño se ha dimensionado acorde a los parámetros normalizados para salas de ordeño, en este caso la sala de ordeño es de tipo espina de pescado. En cuanto a su capacidad, se ha considerado una disposición de tres animales a cada lado del foso basada en la producción diaria y en que el tiempo de ordeño estimado no supere las 2h; por lo que se realiza el ordeño simultaneo de 6 animales.

Tiempo estimado de ordeño por animal: 10 min

Tandas de ordeño: $55/6 = 9,1 \longrightarrow 10$ tandas

Tiempo total de ordeño: $10 \cdot 10 = 100$ min

Para determinar las dimensiones del foso exterior, se ha hecho el cálculo de las deyecciones generadas mensualmente.

Ha sido diseñada con una capacidad suficiente para almacenar los purines generados durante 3 meses tal y como dicta la normativa, de manera que al realizarse el vaciado de la misma mensualmente, se aseguraría la capacidad para 2 meses más en caso de que hubiese algún imprevisto.

Deyecciones de bovinos

Animal	Edad (meses)	Deyecciones producidas (orina + heces kg/día)
Ternero	3-6	7
Vaca	24+	28
Vaca lechera	24+	45

Las deyecciones diarias que produce cada animal en el caso del ganado lechero son de 45 Kg/día. Dado que la densidad del estiércol para este tipo de ganado está estimada en $0,994 \text{ gr/cm}^3 = 994 \text{ Kg/m}^3$, resulta lo siguiente:

Producción diaria por animal: $45 \text{ Kg/día} \cdot 994 \text{ Kg/m}^3 = 0,045 \text{ m}^3/\text{día}$

Producción diaria explotación: $0,045 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 55 \text{ UGM} = 2,475 \text{ m}^3/\text{día}$

Producción para 3 meses: $2,475 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 90 \text{ días} = 222,75 \text{ m}^3/3 \text{ meses}$

Siendo las dimensiones del foso: $8 \times 8 \times 4 \text{ m} = 256 \text{ m}^3$

3.5. CÁLCULOS DE LA ESTRUCTURA

3.5.1. ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA

Según la normativa aplicable para este tipo de estructuras, Documento Básico SE-AE del CTE, las acciones actuantes a considerar para el cálculo y dimensionamiento de las mismas son las siguientes:

Acciones permanentes:

- Peso propio.

Acciones variables:

-
- Sobrecarga de Uso.
 - Viento
 - Nieve
 - Acciones térmicas

Acciones Accidentales:

- Sismo

PESO PROPIO

Según DB SE-AE del CTE: *El peso propio a tener en cuenta es el de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, la tabiquería, todo tipo de carpinterías, revestimientos (como pavimentos, guarnecidos, enlucidos, falsos techos), rellenos (como los de tierras) y equipo fijo.*

En el caso de nuestra estructura los elementos a considerar son los siguientes:

- Correas
- Dinteles
- Cubierta o cerramientos

SOBRECARGA DE USO

En cuanto a la sobrecarga de uso, se define principalmente en función del uso al que esté destinada la nave.

El CTE lo define como *el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso.*

Por lo general, los efectos de la sobrecarga de uso pueden simularse por la aplicación de una carga distribuida uniformemente. De acuerdo con el uso que sea fundamental en cada zona del mismo, como valores característicos se adoptarán los de la Tabla 3.1. del CTE en su Documento básico, Acciones en la edificación.

Dichos valores incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, personas, mobiliario, enseres, mercancías habituales, contenido de los conductos, maquinaria y en su caso vehículos, así como las derivadas de la utilización poco habitual, como acumulación de personas, o de mobiliario con ocasión de un traslado.

VIENTO

La sobrecarga del viento según el CTE en su Documento Básico SE-AE, se define de la siguiente manera:

La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre una estructura y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento.

Dicho esto, la acción del viento es según el apartado 3.3.2 en general una fuerza perpendicular a la superficie de a cada punto expuesto, o presión estática q_e , que puede expresarse como:

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

NIEVE

Citando de nuevo al CTE, La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre una cubierta depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma de la cubierta, de los efectos del viento y de los intercambios térmicos de los paramentos exteriores.

De manera que para realizar dicho cálculo, como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, q_n puede tomarse:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

Siendo:

μ : Coeficiente de forma de la cubierta según tabla 3.5.3 del CTE.

S_k : El valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según 3.5.2 del CTE.

ACCIONES TÉRMICAS

Estas acciones variables aparecen cuando los edificios y sus elementos están sometidos a deformaciones y cambios geométricos debidos a las variaciones de la temperatura ambiente exterior, según el CTE.

Teniendo en cuenta que la magnitud de las mismas depende de las condiciones climáticas del lugar, la orientación y de la exposición del edificio, las características de los materiales constructivos y de los acabados o revestimientos, y del régimen de calefacción y ventilación interior, así como del aislamiento térmico.

Para el caso concreto del presente proyecto, su longitud es de 45m y no se dispone de juntas de dilatación ni se consideran acciones térmicas.

Según DB SE-A en su apartado 3.4.1.3 referentes a cargas térmicas nos dice que en edificios con elementos estructurales de hormigón o acero pueden no considerarse las acciones térmicas cuando se dispongan juntas de dilatación de forma que no existan elementos continuos de más de 40 m de longitud.

SISMO

Las acciones sísmicas están reguladas en la Norma de Construcción Sismorresistente, NCSE-02, parte general y edificación; tal y como se especifica en el CTE.

De acuerdo con la norma, se determina la clasificación de la construcción de acuerdo con el uso a que se destina, con los daños que puede ocasionar su destrucción e independientemente del tipo de obra de la que se trate.

Por lo tanto, existen tres categorías:

- *Importancia moderada: “Aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario, o producir daños económicos significativos a terceros.”*
- *Importancia normal: “Aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción puede ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en*

ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.”

- **Importancia especial:** “Aquella cuya destrucción por el terremoto puede interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos.”

Siguiendo dichos criterios, la nave a dimensionar se sitúa en la categoría de “Importancia normal”.

Una vez determinada la categoría, se procede al cálculo de la aceleración sísmica, basándose en determinar la peligrosidad sísmica del lugar en el que se encuentra la construcción. Parámetro que viene definido en el mapa de peligrosidad sísmica del territorio nacional mostrado a continuación:

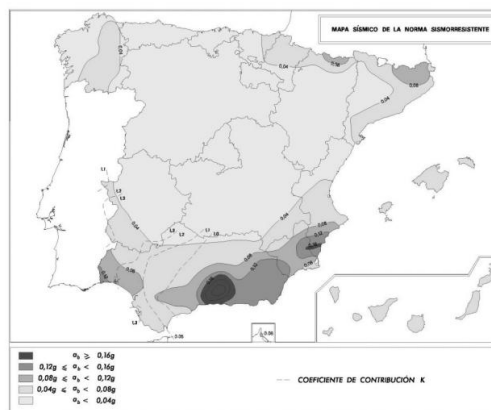


Fig 2. Mapa de peligrosidad sísmica.

Tal y como se muestra en el mapa anterior, el valor de aceleración sísmica básica a_b para el emplazamiento de la presente construcción es menor de $0,04g$.

En definitiva, debido a que se trata de una construcción de “Importancia normal” y su aceleración sísmica básica es inferior a $0,04g$, no se tendrá en cuenta la acción sísmica, de acuerdo con la normativa.

3.5.2. CUBIERTA

3.5.2.1. Peso Propio

Para la selección del cerramiento se recurre al catálogo de la empresa PANEL SANDWICH donde se seleccionará un panel tipo sándwich tapajuntas de 40 mm de espesor con 4 apoyos. En el peso del panel vienen incluidos los pesos de los tapajuntas, tornillería y cumbrera.

$$\text{Peso}_{\text{cubierta}} = 9,7 \text{ kg/m}^2 = 0,097 \text{ KN/m}^2$$

3.5.2.2. Sobrecarga de Uso

Según la norma SE-AE, la sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso. Como valores característicos se adoptarán los de la siguiente tabla, cuya sobrecarga corresponderá a la categoría G: *cubiertas accesibles únicamente para conservación*, concretamente a G1: *cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado)*. Por lo tanto, se obtiene una carga uniforme de 0,4 y una carga puntual de 1 kN. Se deberá comprobar cuál de las dos es más desfavorable.

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

Fig.3. Valores característicos de las sobrecargas de uso.

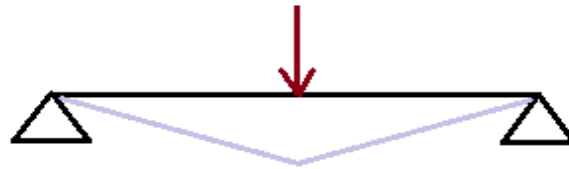
Carga puntual

Como la nave presenta una pendiente de 10°, será necesario descomponer la carga en perpendicular y paralelo.

$$Q_{\text{uso (perp.)}} = 1 \text{ kN} \cdot \cos(10) = 0,9848 \text{ KN}$$

$$Q_{\text{uso (paral.)}} = 1 \text{ kN} \cdot \sin(10) = 0,1736 \text{ KN}$$

$$M = \frac{P \cdot l}{4} = \frac{1 \text{ KN} \cdot 5 \text{ m}}{4} = 1,25 \text{ kN.m}$$



Carga distribuida

Se refiere a la proyección horizontal de la superficie de la cubierta, por lo tanto, como la nave tiene una pendiente de 10° habrá que multiplicarla por el coseno de dicho ángulo para colocarla encima de la superficie del faldón.

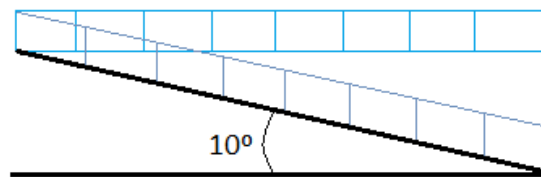


Fig.4. Descomposición de cargas de uso del faldón.

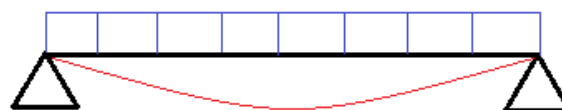
$$Q_{\text{uso}} = 0,4 \text{ KN/m}^2 \cdot \cos (10) = 0,3939 \text{ KN/m}^2$$

De la misma manera habrá que descomponer dicha carga en perpendicular y paralelo, debido a la inclinación que presenta la nave.

$$Q_{\text{uso (perp.)}} = 0,4 \text{ KN/m}^2 \cdot \cos (10) \cdot \cos (10) = 0,3879 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_{\text{uso (paral.)}} = 0,4 \text{ KN/m}^2 \cdot \cos (10) \cdot \text{sen} (10) = 0,077 \text{ KN/m}^2$$

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{(0,3939 \cdot 1,9) \frac{\text{KN}}{\text{m}} \cdot 5^2 \text{ m}^2}{8} = 2,338 \text{ KN.m}$$



Para la sobrecarga de uso utilizaremos el valor de la carga distribuida, dado que el momento que produce es superior al de la carga puntual.

3.5.2.3. Sobrecarga de nieve

Como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, q_n , pueden tomarse:

$$q_n = \mu \cdot S_k$$

El coeficiente de forma viene definido por μ con un valor de 1, ya que el faldón tiene una inclinación menor a 30° y no hay ningún impedimento para que la nieve deslice, de acuerdo con el CTE.

El valor característico de la carga de nieve, S_k , en las capitales de provincia y ciudades autonómicas se obtendrá de la tabla 3.8

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

Fig. 1.3. Sobrecarga de nieve en capitales y ciudades.

La nave está ubicada a una altura de 130 m del nivel del mar (Castro Urdiales), por lo tanto, el valor de la carga será de $S_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$

El valor de la carga de nieve por unidad de superficie es sobre la superficie horizontal. Por lo tanto, el estudio es igual al realizado para el cálculo de la carga distribuida.

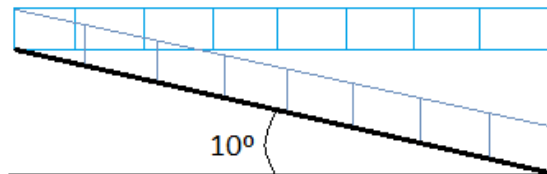


Fig. 1.4. Descomposición de cargas de nieve del faldón.

$$q_n = 1 \cdot 0,4 \text{ KN/m}^2 \cdot \cos(10) = 0,39 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{n(\text{perp.})} = 1 \cdot 0,39 \text{ KN/m}^2 \cdot \cos(10) = 0,384 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{n(\text{paral.})} = 1 \cdot 0,39 \text{ KN/m}^2 \cdot \sin(10) = 0,067 \text{ KN/m}^2$$

3.5.2.4. Sobrecarga de viento

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

$$q_n = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

El valor de la **presión dinámica** del viento será $q_b = 0,52 \text{ KN/m}^2$, ya que la nave está situada en Cantabria a la cual le corresponde la zona C, como se observa en el siguiente mapa geográfico.

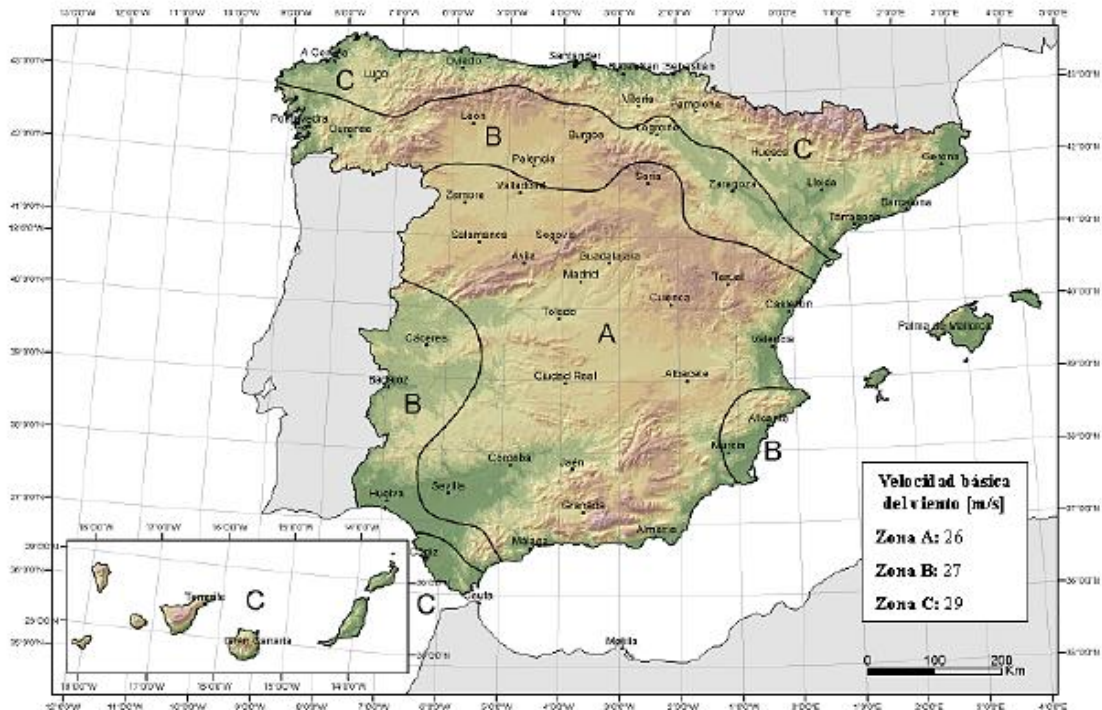


Fig. 1.5. Valor básico de la velocidad del viento.

El **coeficiente de exposición** tienen en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Su valor se puede tomar de la tabla 3.4 (fig. 1.6), siendo la altura del punto considerado la medida respecto a la rasante media de la fachada a barlovento.

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

Fig. 1.6. Valores del coeficiente de exposición C_e .

Se trata de una *zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas*, por lo tanto le corresponderá un grado de aspereza III del entorno. Siendo 5 m la altura de la fachada y 1,67 m la altura correspondiente a la cubierta:

La altura media de la cubierta es: $5 \text{ m} + 1,67/2 = 5,835 \text{ m}$

El coeficiente de exposición tiene como valor: $c_e = 2$

El **coeficiente eólico ó de presión**, depende de la forma y orientación de la superficie respecto al viento. Por ello, aparece un coeficiente interior y otro exterior debido a las características constructivas de la nave.

El valor se establece en los apartados 3.3.4 y 3.3.5 del “Documento Básico SE-AE Acciones en la edificación”. En el cual se especifica lo siguiente:

“1. En naves y construcciones diáfanos, sin forjados que conecten las fachadas, la acción del viento debe individualizarse en cada elemento de superficie exterior. Cuando en al menos dos de los lados del edificio (fachadas o cubiertas) el área total de los huecos exceda el 30% del área total del lado considerado, la acción del viento se determina considerando la estructura como una marquesina o una pared libre.”

En este caso, la acción del viento se determina considerando la estructura como una marquesina, ya que en al menos dos de los lados del edificio el área total de los huecos excede el 30% del área total del lado considerado.

Fachada frontal: $A_H = 10 \cdot 5 = 50 \text{ m}^2$ de $A_T = 25 \cdot 5 = 125 \text{ m}^2$

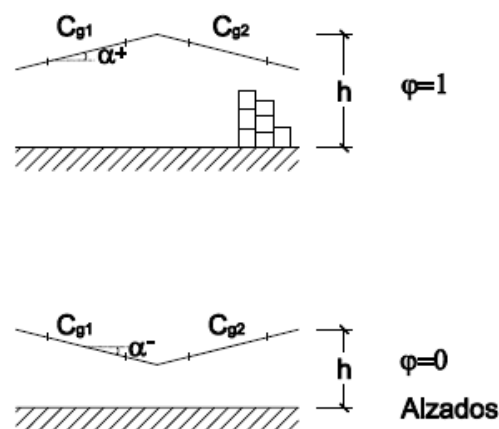
Porcentaje de huecos: 40%

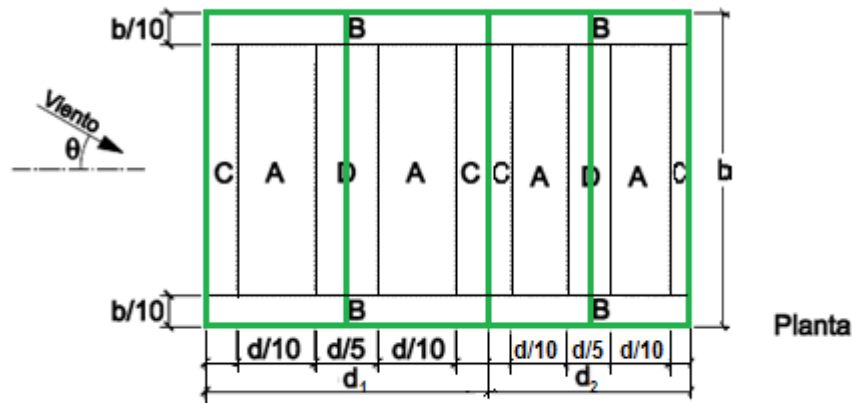
Fachada trasera: $A_H = 22,6 \cdot 5 = 113 \text{ m}^2$ de $A_T = 25 \cdot 5 = 125 \text{ m}^2$

Porcentaje de huecos: 90,4%

El **coeficiente de presión exterior** se establece en las tablas de viento del documento SE-AE en el Anejo D, concretamente en la tabla D.11 de marquesina a dos aguas:

Caso1 (Viento transversal):





Donde: $b = 45 \text{ m}$; $d_1 = 19 \text{ m}$; $d_2 = 6 \text{ m}$; $b/10 = 4,5 \text{ m}$;

- Estabulación: $d_1/10 = 1,9 \text{ m}$; $d_1/5 = 3,8 \text{ m}$
- Almacén: $d_2/10 = 0,6 \text{ m}$; $d_2/5 = 1,2 \text{ m}$

Para una pendiente de cubierta de 10° se obtienen los siguientes resultados:

10°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,7	1,8	1,4	0,4
	Arriba	0	-0,7	-1,5	-1,4	-1,4
	Arriba	1	-1,3	-2,0	-1,8	-1,8

Fig. 1.9. Tabla de valores de las cargas de viento

Aparecen dos líneas de valores, correspondientes a los vientos de succión y presión. Los valores de las cargas de viento serán:

- Viento a Presión

$$A \rightarrow q_A = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (0,7) = 0,728 \text{ KN/m}^2$$

$$B \rightarrow q_B = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (1,8) = 1,872 \text{ KN/m}^2$$

$$C \rightarrow q_C = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (1,4) = 1,456 \text{ KN/m}^2$$

$$D \rightarrow q_D = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (0,4) = 0,416 \text{ KN/m}^2$$

Las correas más desfavorables estarán en la zona BCB.

Factor de obstrucción φ

Según el CTE, el grado de obstrucción de flujo por debajo de una marquesina se caracteriza mediante el factor de obstrucción, φ , definido como la relación entre el área obstruida y el área de la sección total bajo la marquesina. Ambas áreas se consideran en un plano perpendicular a la dirección del viento.

$$\varphi = \text{área obstruida} / \text{área total}$$

Se considerará la situación de succión más desfavorable, por lo que se tomará un valor de obstrucción igual a 1.

- Viento a Succión

$$A \rightarrow q_A = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-1,3) = -1,352 \text{ KN/m}^2$$

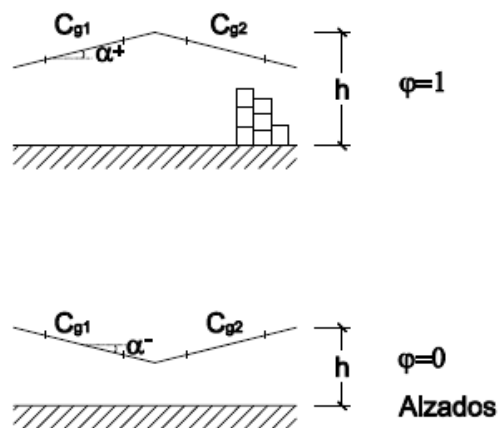
$$B \rightarrow q_B = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-2) = -2,08 \text{ KN/m}^2$$

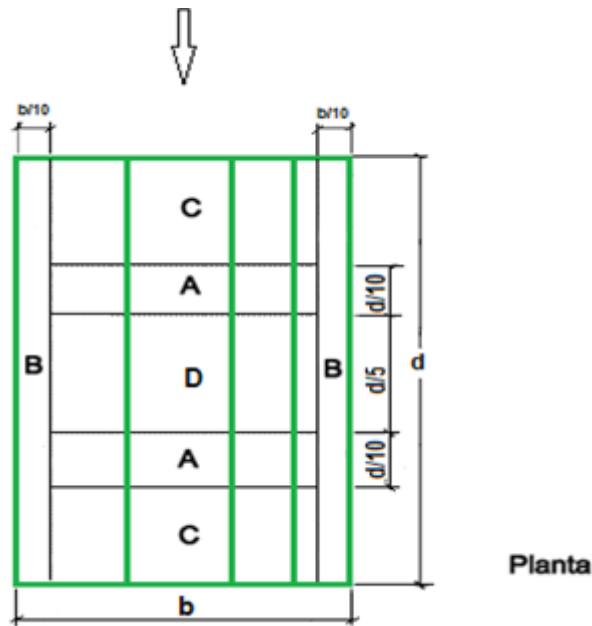
$$C \rightarrow q_C = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-1,8) = -1,872 \text{ KN/m}^2$$

$$D \rightarrow q_D = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-1,8) = -1,872 \text{ KN/m}^2$$

Las correas más desfavorables estarán en las zonas BCB y BDB.

Caso2 (Viento longitudinal):





Donde: $b = 25 \text{ m}$; $d = 45 \text{ m}$; $b/10 = 2,5 \text{ m}$; $d/10 = 4,5$; $d/5 = 9 \text{ m}$

Para una pendiente de cubierta de 10° se obtienen los siguientes resultados:

10°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,7	1,8	1,4	0,4
	Arriba	0	-0,7	-1,5	-1,4	-1,4
	Arriba	1	-1,3	-2,0	-1,8	-1,8

Fig. 1.9. Tabla de valores de las cargas de viento

Aparecen dos líneas de valores, correspondientes a los vientos de succión y presión. Los valores de las cargas de viento en las diferentes zonas serán:

- Viento a Presión

$$A \rightarrow q_A = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (0,7) = 0,728 \text{ KN/m}^2$$

$$B \rightarrow q_B = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (1,8) = 1,872 \text{ KN/m}^2$$

$$C \rightarrow q_C = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (1,4) = 1,456 \text{ KN/m}^2$$

$$D \rightarrow q_D = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (0,4) = 0,416 \text{ KN/m}^2$$

Las correas más desfavorables estarán en la zona BCB.

Factor de obstrucción φ

Según el CTE, el grado de obstrucción de flujo por debajo de una marquesina se caracteriza mediante el factor de obstrucción, φ , definido como la relación entre el área obstruida y el área de la sección total bajo la marquesina. Ambas áreas se consideran en un plano perpendicular a la dirección del viento.

$$\varphi = \text{área obstruida} / \text{área total}$$

Se considerará la situación de succión más desfavorable, por lo que se tomará un valor de obstrucción iguala 1.

- Viento a Succión

$$A \rightarrow q_A = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-1,3) = -1,352 \text{ KN/m}^2$$

$$B \rightarrow q_B = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-2) = -2,08 \text{ KN/m}^2$$

$$C \rightarrow q_C = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-1,8) = -1,872 \text{ KN/m}^2$$

$$D \rightarrow q_D = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-1,8) = -1,872 \text{ KN/m}^2$$

Con los resultados obtenidos observamos que el caso más desfavorable es el correspondiente a la **zona B**, tanto con viento longitudinal como transversal, con una carga de $-2,08 \text{ KN/m}^2$.

3.5.2.5. Combinaciones

Una vez calculadas todas las sobrecargas o acciones a las que está sometida la estructura, se procede a la realización de dichas acciones combinadas entre sí.

Para ello, se emplea la siguiente expresión:

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

Donde la letra G representa las acciones permanentes, y la letra Q en cambio, representa las acciones variables.

γ : Es el coeficiente parcial de seguridad para las acciones. Según la tabla 4.1 (SE-11) se toman los valores para comprobaciones de resistencia teniendo en cuenta si su efecto es desfavorable o favorable considerada globalmente.

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

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

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

ψ : Es el coeficiente de simultaneidad. Se establecen en la tabla 4.2 (SE-9).

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

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

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

Para la combinación de hipótesis dividiremos el estudio en función de la dirección de las cargas, perpendiculares o paralelas al faldón de la cubierta.

- Cargas perpendiculares a la cubierta.
 - Carga permanente: C.P = 0,097 KN/m²
 - Sobrecarga de uso: S.U = 0,3939 KN/m²
 - Sobrecarga de nieve: S.N = 0,39 KN/m²
 - Sobrecarga de viento (succión): S.VS_B = -2,08 KN/m²

- Sobrecarga de viento (presión): $S.VP_B = 1,872 \text{ KN/m}^2$

Una vez mencionadas las cargas actuantes, plantearemos las hipótesis.

- $1,35 \cdot C.P$
- $1,35 \cdot C.P + 1,5 \cdot S.U$
- $1,35 \cdot C.P + 1,5 \cdot S.N$
- $1,35 \cdot C.P + 1,5 \cdot S.V_P$
- $0,8 \cdot C.P + 1,5 \cdot S.V_S = 0,8 \cdot 0,097 + 1,5 \cdot (-2,08) = -3,04 \text{ KN/m}^2$

- $1,35 \cdot C.P + 1,5 \cdot S.N + 1,5 \cdot 0,6 \cdot S.V_P$
- $0,8 \cdot C.P + 0 \cdot S.N + 1,5 \cdot 0,6 \cdot S.V_S$

- $1,35 \cdot C.P + 1,5 \cdot S.V_P + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S.N =$

$$1,35 \cdot 0,097 + 1,5 \cdot 1,872 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,39 = 3,246 \text{ KN/m}^2$$

- $0,8 \cdot C.P + 1,5 \cdot S.V_S + 1,5 \cdot 0 \cdot S.N$

La combinación de carga más desfavorable en el sentido perpendicular al faldón que van a sufrir las correas es la que incluye la carga permanente con la sobrecarga de viento a succión.

- Cargas paralelas

- Carga permanente: $C.P = 0,097 \text{ KN/m}^2$
- Sobrecarga de uso: $S.U = 0,3939 \text{ KN/m}^2$
- Sobrecarga de nieve: $S.N = 0,39 \text{ KN/m}^2$

En las hipótesis de cargas paralelas como el viento incide perpendicularmente a las superficies, no se tendrá en cuenta en este segundo estudio.

- $1,35 \cdot C.P$
- $1,35 \cdot C.P + 1,5 \cdot S.U$
- $1,35 \cdot C.P + 1,5 \cdot S.N$

De todas las combinaciones posibles que afectan a la cubierta, es aquella que incluye la carga permanente, la sobrecarga de viento a sotavento en la zona B y la nieve. Dichas cargas serán más desfavorables en el plano perpendicular al faldón. De esta manera nos queda:

$$1,35 \cdot C.P + 1,5 \cdot S.V_P + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S.N = 1,35 \cdot 0,097 + 1,5 \cdot 1,872 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,39 = 3,246 \text{ KN/m}^2 = 324,6 \text{ Kg/m}^2$$

ESQUEMA ESTÁ ICO – CUATRO APOYOS – Distancia entre apoyos en cm.													
Espesor del panel (mm)	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	450	500
30	409	354	313	277	252	209	177	147	128	110	96	–	–
40	–	390	347	310	278	251	225	195	169	146	127	95	–
50	–	–	384	346	311	289	263	241	211	180	161	124	98
60	–	–	–	383	347	319	295	274	251	224	198	151	131
80	–	–	–	–	423	386	358	330	313	289	272	213	157

$$\text{Carga máxima} = 347 \text{ kg/m}^2 > 324,6 \text{ Kg/m}^2$$

Observando el catálogo de los productos de la empresa GRUPO PANEL SANDWICH, se seleccionará un panel sándwich tapajuntas para cubiertas con un espesor de 40mm, que para una distancia entre correas de 2 m soporta una carga máxima de 347 kg/m².

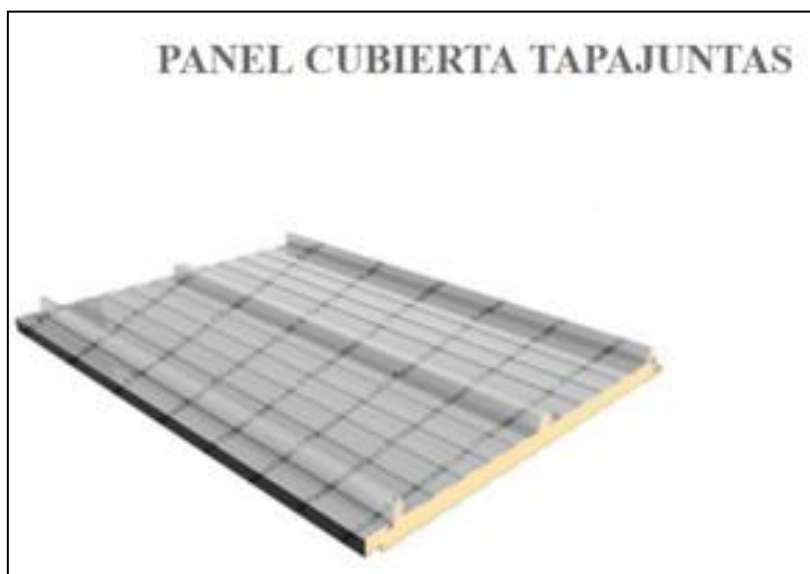
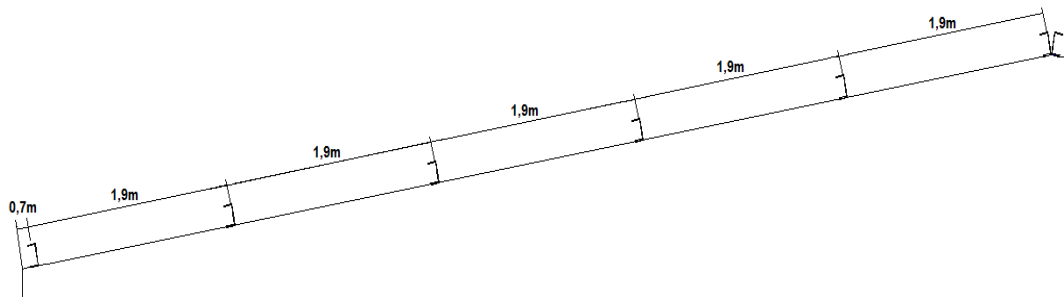


Fig.5. Panel de cubierta

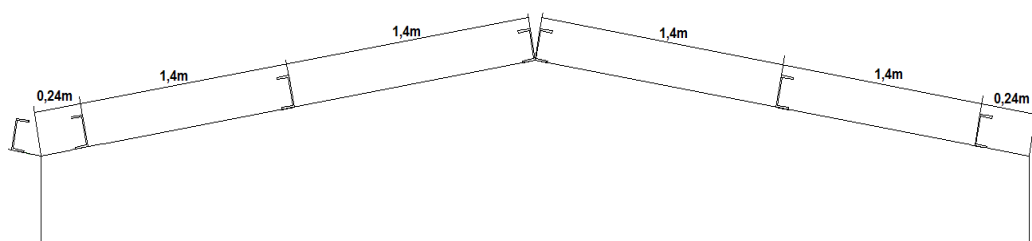
Finalmente, desde el punto de vista geométrico es conveniente disponer las correas de cubierta cada 1,9m en el caso de la estabulación y 1,4m en el del almacén, aunque finalmente esta distancia se ve reducida a 1,85m para la estabulación. De manera que el alero no sea excesivo y a su vez sea el necesario para la instalación del canalón longitudinal en la unión entre ambas

naves. De esta manera, la distribución de las correas de cubierta es la siguiente:

- Cubierta estabulación:



- Cubierta almacén:



3.5.3. PARAMENTOS VERTICALES

Las cargas que actuarán sobre el panel de fachada de acuerdo con el Código Técnico de la Edificación, son las siguientes:

3.5.3.1. Peso Propio

Peso propio del panel: Para la selección del cerramiento se recurre al catálogo de la empresa SIDER PANEL, donde se seleccionará un panel metálico auto portante de espuma de poliuretano de 40 mm de espesor. En el peso del panel vienen incluidos los pesos de los tapajuntas, tornillería y cumbrera.

$$\text{Peso}_{\text{panel}} = 9,15 \text{ kg/m}^2$$

3.5.3.2. Sobrecarga de Uso

La sobrecarga de uso, se define según el Documento Básico de Seguridad Estructural, como el peso de todo lo que gravita en el edificio por razón de su uso. En este caso se trata de un cerramiento lateral, por este motivo esta carga no intervendrá en su dimensionamiento.

3.5.3.3. Sobrecarga de nieve

De la misma manera, la carga de nieve no intervendrá en estudio porque en ninguno de los casos se va a poder acumular nieve en un terreno vertical.

3.5.3.4. Sobrecarga de viento

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

$$q_n = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

El valor de la **presión dinámica** del viento será $q_b = 0,52 \text{ kN/m}^2$, ya que la nave está situada en Castro Urdiales, Cantabria a la cual le corresponde la zona C.

El valor del **coeficiente de exposición** se toma de la tabla 3.4. Se trata de una *zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas*, por lo tanto le corresponderá un grado de aspereza III del entorno.

Para la fachada principal y trasera la altura total de la nave es de 6,67 metros, siendo la altura media de la nave 5,835 metros. Por lo tanto, el coeficiente de exposición será: $C_e = 2$

Sin embargo, para las fachadas laterales la altura total a considerar es de 5 metros. De esta manera, se tomará un valor para el coeficiente de exposición de: $C_e = 1,86$

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

Fig. 1.1. Valores del coeficiente de exposición C_e .

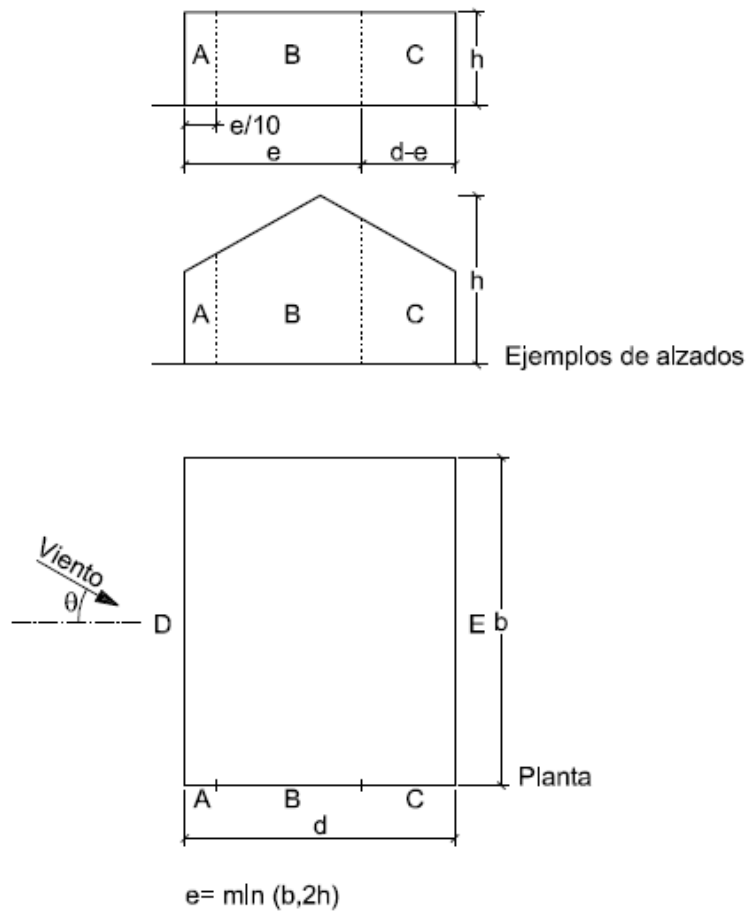
El coeficiente eólico ó de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento. Por ello, aparecerá un coeficiente interior y otro exterior debido a las características constructivas de la nave.

Tal y como se indica en el apartado 3.3.5. del DB SE-AE:

“2. A efectos de cálculo de la estructura, del lado de la seguridad se podrá utilizar la resultante en cada plano de fachada o cubierta de los valores del Anejo D.3, que recogen el pésimo en cada punto debido a varias direcciones de viento. A los efectos locales, tales como correas, paneles de cerramiento, o anclajes, deben utilizarse los valores correspondientes a la zona o zonas en que se encuentra ubicado dicho elemento.”

Por lo tanto, el **coeficiente de presión exterior** se establece en las tablas de viento del documento SE-AE, concretamente en la tabla D.3 de paramentos verticales

Caso 1 (Viento transversal):



Donde: $e = \min(b, 2 \cdot h) = \min(45, 13,34) = 13,34 \text{ m}$
 $A > 10 \text{ m}^2$
 $h/d = 6,67/25 = 0,267$

	A	B	C	D	E
Succión y Presión	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

Fig. 1.2. Valores de las cargas de viento transversal.

- Succión y Presión

$$A \rightarrow q_{eA} = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-1,2) = -1,248 \text{ KN/m}^2$$

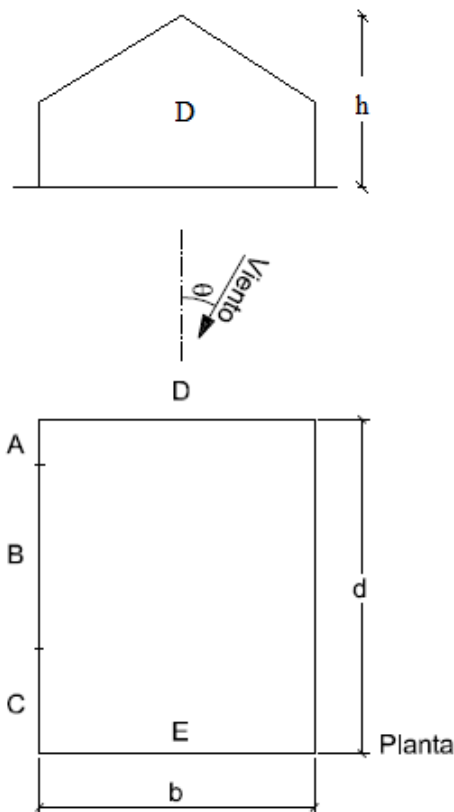
$$B \rightarrow q_{eB} = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-0,8) = -0,832 \text{ KN/m}^2$$

$$C \rightarrow q_{eC} = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-0,5) = -0,52 \text{ KN/m}^2$$

$$D \rightarrow q_{eD} = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,86 \cdot (0,7) = 0,677 \text{ KN/m}^2$$

$$E \rightarrow q_{eE} = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,86 \cdot (-0,3) = -0,29 \text{ KN/m}^2$$

Caso 2 (Viento longitudinal):



Donde: $e = \min(b, 2 \cdot h) = \min(25, 13,34) = 13,34 \text{ m}$
 $A > 10 \text{ m}^2$
 $h/d = 6,67/45 = 0,148$

	A	B	C	D	E
Succión y Presión	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

Fig. 1.3. Valores de las cargas de viento longitudinal.

- Succión y Presión

$$A \rightarrow q_{eA} = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-1,2) = -1,248 \text{ KN/m}^2$$

$$B \rightarrow q_{eB} = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-0,8) = -0,832 \text{ KN/m}^2$$

$$C \rightarrow q_{eC} = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 2 \cdot (-0,5) = -0,52 \text{ KN/m}^2$$

$$D \rightarrow q_{eD} = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,86 \cdot (0,7) = 0,677 \text{ KN/m}^2$$

$$E \rightarrow q_{eE} = 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,86 \cdot (-0,3) = -0,29 \text{ KN/m}^2$$

El **coeficiente de presión interior**, C_{pi} , lo obtendremos de la tabla 3.6, de acuerdo con el CTE.

Tabla 3.6 Coeficientes de presión interior

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

Para conocer dicho valor habrá que tener en cuenta además de la esbeltez en el plano y el área, la superficie sobre la cual incide la acción del viento.

$$\text{Esbeltez} = 6,67 / 45 = 0,148 < 1$$

La fuerza del viento debida a la succión interior (sotavento):

$$\begin{aligned} &\text{Para } \rightarrow (A=0,7; C_{pi} = -0,1) \\ q_{ei} &= 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,63 \cdot (-0,1) = -0,085 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

La fuerza del viento debida a la presión interior (barlovento):

$$\begin{aligned} &\text{Para } \rightarrow (A=0,3; C_{pi} = 0,4) \\ q_{ei} &= 0,52 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,563 \cdot (0,4) = 0,339 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

Para la obtención de las cargas longitudinales totales sumaremos las debidas a los vientos exterior e interior.

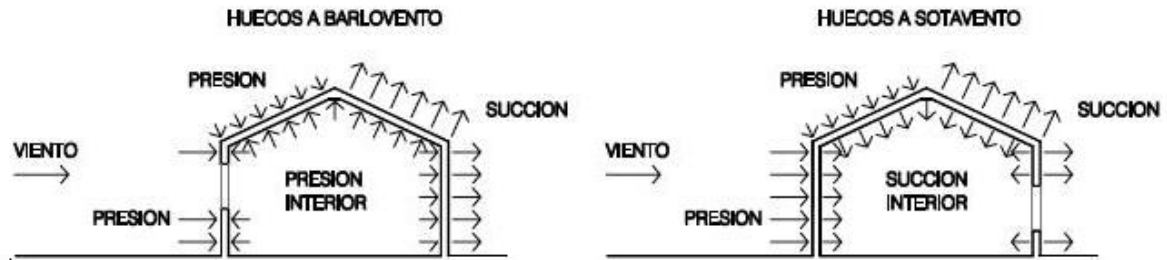


Fig. 3.1 Presiones ejercidas por el viento en una construcción diáfana

- Viento a barlovento:

$$A \rightarrow q_{eA} = -1,248 - (0,339) = -1,587 \text{ KN/m}^2$$

$$B \rightarrow q_{eB} = -0,832 - (0,339) = -1,171 \text{ KN/m}^2$$

$$C \rightarrow q_{eC} = -0,52 - (0,339) = -0,859 \text{ KN/m}^2$$

$$D \rightarrow q_{eD} = 0,677 - (0,339) = 1,016 \text{ KN/m}^2$$

$$E \rightarrow q_{eE} = -0,29 - (0,339) = -0,629 \text{ KN/m}^2$$

- Viento a sotavento:

$$A \rightarrow q_{eA} = -1,248 - (-0,085) = -1,163 \text{ KN/m}^2$$

$$B \rightarrow q_{eB} = -0,832 - (-0,085) = -0,747 \text{ KN/m}^2$$

$$C \rightarrow q_{eC} = -0,52 - (-0,085) = -0,435 \text{ KN/m}^2$$

$$D \rightarrow q_{eD} = 0,677 - (-0,085) = 0,762 \text{ KN/m}^2$$

$$E \rightarrow q_{eE} = -0,29 - (-0,085) = -0,205 \text{ KN/m}^2$$

Resulta que el viento más desfavorable es el correspondiente al viento longitudinal a barlovento en la zona A, con una carga de $-1,587 \text{ KN/m}^2$. Según el CTE, la combinación de carga más desfavorable será la máxima carga de viento mayorada, es decir:

$$1,5 \cdot S \cdot V_s = 1,5 \cdot (-158,7) = -238,05 \text{ kg/m}^2$$

Observando el catálogo de los productos de la empresa SIDER PANEL, la elección será un panel tipo sándwich de 3 o más apoyos para cerramientos con un espesor de 40mm, que para una distancia entre correas de 1,5m admite una

carga máxima de 256 kg/m². Finalmente las correas se colocan a una distancia de 1,35m debido a la geometría de la nave.

Las características técnicas del panel vienen recogidas en las siguientes tablas:

Espesor del panel (mm)	Transmitancia Térmica (U) W/m ² K		Peso del panel Acero/Acero (Kg/m ²) Espesor nominal chapa 0,5 mm.	
30	0,658		8,75	
40	0,500		9,15	
50	0,409		9,55	
60	0,344		9,95	
80	0,261		10,75	
100	0,210		11,55	
120	0,176		12,35	

El coeficiente de transmisión térmica (K) se ha calculado considerando el espesor del núcleo aislante y teniendo en cuenta la resistencia superficial

Espesor del panel (mm)	ESQUEMA ESTÁTICO - DOS APOYOS - Distancia entre apoyos en cm.														
	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	450	500	550	600
30	190	161	140	124	102	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	256	218	190	168	150	136	105	81	63	-	-	-	-	-	-
50	322	275	239	212	190	172	156	131	103	82	66	-	-	-	-
60	-	332	289	256	229	207	189	174	152	121	98	66	-	-	-
80	-	-	-	344	308	279	255	235	217	202	182	124	88	63	-
100	-	-	-	-	-	-	321	296	274	255	238	200	142	104	78
120	-	-	-	-	-	-	-	356	330	307	287	254	209	154	116

Espesor del panel (mm)	ESQUEMA ESTÁTICO - TRES O MÁS APOYOS - Distancia entre apoyos en cm.														
	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	450	500	550	600
30	190	161	140	124	110	89	67	-	-	-	-	-	-	-	-
40	256	218	190	168	150	136	124	97	75	-	-	-	-	-	-
50	322	275	239	212	190	172	156	144	123	98	79	-	-	-	-
60	-	332	289	256	229	207	189	174	161	146	118	79	-	-	-
80	-	-	-	344	308	279	255	235	217	202	189	149	105	76	-
100	-	-	-	-	-	-	321	296	274	255	238	210	171	125	93
120	-	-	-	-	-	-	-	356	330	307	287	254	227	185	139

Fig. 6. Características cerramiento de fachada. Valores máximos en Kg/m²

$$\text{Carga máxima} = 256 \text{ kg/m}^2 > 238,7 \text{ kg/m}^2$$

Por lo que el panel escogido cumple con los requerimientos de la construcción.

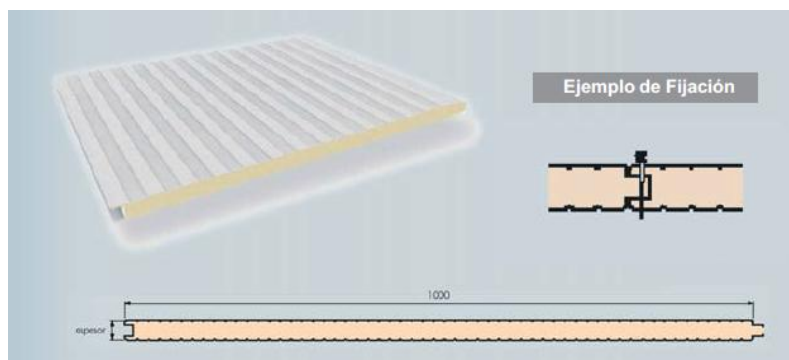


Fig.7. Cerramiento de fachada.

3.5.4. CYPE: MÓDULO DE GENERADOR DE PÓRTICOS

Para realizar el cálculo y dimensionamiento del resto de los elementos que componen la estructura se ha utilizado el programa CYPE.

En primer lugar se hace uso del módulo del generador de pórticos para definir los pórticos que conforman la estructura, así como los parámetros generales de la obra. De este módulo se obtienen las correas tanto laterales como de cubierta, que son las encargadas de transferir los esfuerzos actuantes sobre los cerramientos hasta la estructura principal, ya su vez hacen de base para dichos elementos.

3.5.4.1. Características del pórtico

Para dar comienzo a la creación de la estructura se introduce los pórticos que la conforman, definiendo su forma y dimensiones.

En todas las dimensiones que corresponden a las alturas introducidas en el programa se le ha sumado 0,5m, debido a que dicho tramo se introduce bajo el suelo formando parte de la cimentación.

En este caso la estructura está formada por dos pórticos contiguos, ambos a dos aguas y con las siguientes dimensiones:

- Pórtico estabulación: pórtico rígido a dos aguas con una altura de 7,17m hasta la cumbrera y 5,5m en sus pilares. La luz del pórtico es de 19m.

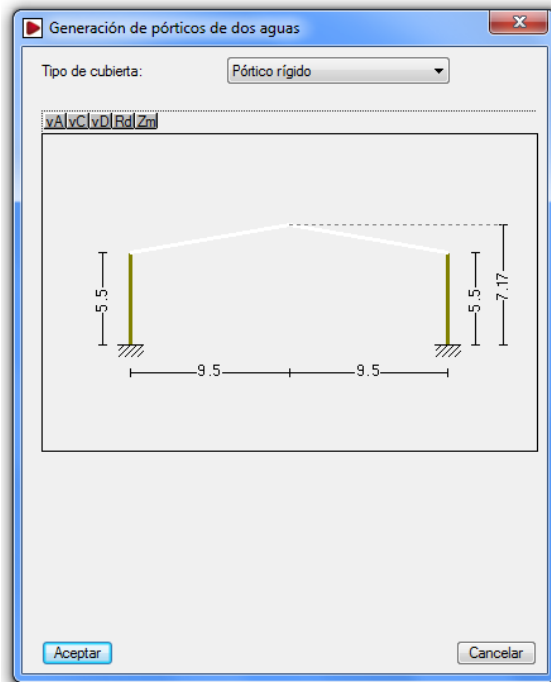


Fig.8. Dimensiones pórtico de la estabulación.

- Pórtico Almacén: pórtico rígido a dos aguas con una altura de 6,03m hasta la cumbrera y 5,5m en sus pilares. La luz del pórtico es de 6m.

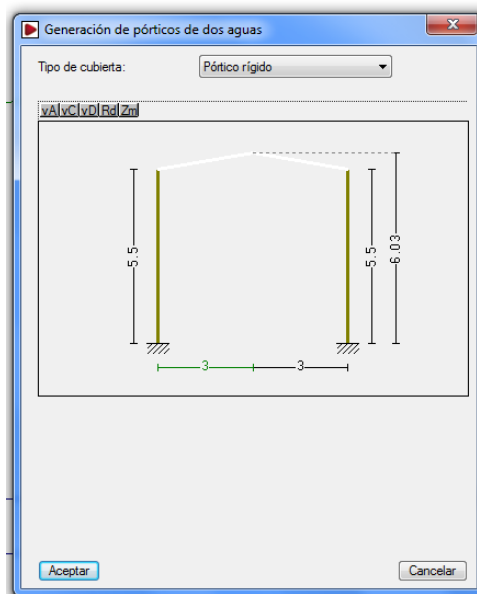


Fig.9. Dimensiones pórtico del almacén.

Por último, se introduce un muro perimetral en los laterales longitudinales de la nave de 2m de altura. El muro hace de arriostramiento de los pilares frente al

pandeo, es decir, que el muro arriestra el pilar frente al pandeo global fuera del plano del pórtico y al mismo tiempo frente al pandeo lateral en las alas del pilar.

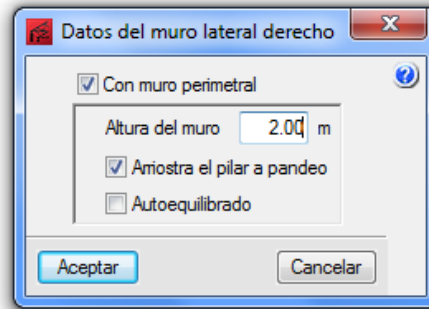


Fig.10. Muro perimetral

La opción autoequilibrado, permite que sea el propio muro quien soporta la carga de viento que incide en el, de manera que hasta la altura en la que se encuentra el muro no se genera carga de viento en los pilares. En este caso, se considera que la carga de viento incidente en el muro es transmitida a los pilares, por lo que no se activa dicha opción.

El conjunto de los pórticos se muestra en la siguiente figura:

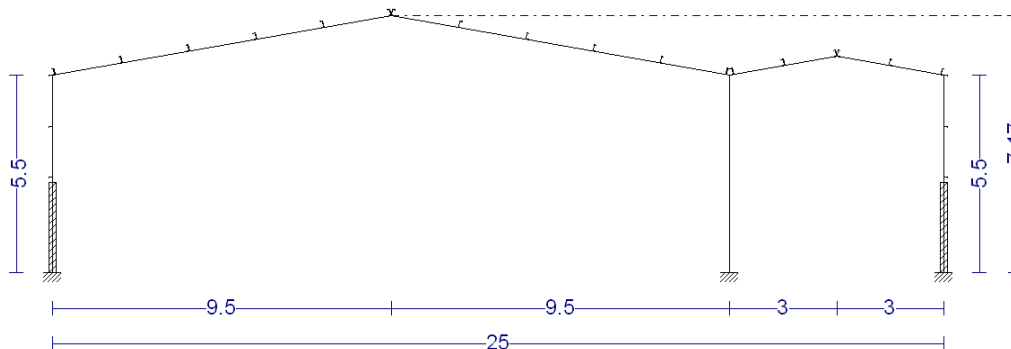


Fig.11. Pórtico general.

3.5.4.2. Datos generales de la obra

A continuación, se introducen los datos generales de la construcción, siguiendo las pautas mostradas en la figura siguiente:

Fig.12. Datos generales de la obra.

- **Numero de vanos: 9.**

Para una longitud total de 45m se disponen un total de 9 vanos.

- **Separación entre pórticos: 5m.**

Se determina que la separación óptima entre los pórticos sea de 5m.

- **Peso del cerramiento de cubierta: 0,097 KN/m².**

- **Peso del cerramiento lateral: 0.091 KN/m².**

Como ya se ha calculado anteriormente, el peso del cerramiento de la cubierta es de 0,097 KN/m², especificado en el catálogo de PANEL SANDWICH, y el peso del cerramiento lateral es de ,0915 KN/m², especificado en el catálogo de SIDER PANEL.

- **Sobrecarga del cerramiento: 0.4 KN/m².**

Esta sobrecarga es la correspondiente a la sobrecarga de uso especificada en el DB SE-AE del CTE, en la *categoría de cubiertas accesibles únicamente para conservación*, concretamente en *cubiertas ligeras sobre correas (si forjado)*.

- **Sobrecarga de viento**

En el caso de la sobrecarga del viento se procede de acuerdo a al diálogo mostrado a continuación:

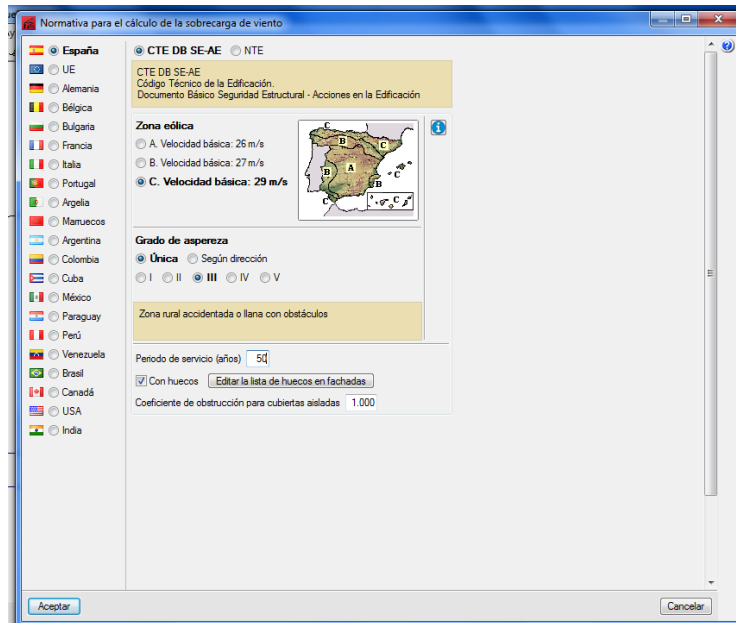


Fig.13. Introducción de parámetros de viento.

Inicialmente se selecciona la **normativa** que se va a utilizar, en este caso el CTE DB SE-AE (Código Técnico de Edificación y Documento Básico de Seguridad Estructural- Acciones en la Edificación).

A continuación, se determina la **zona eólica** dependiendo de la ubicación en la que se encuentra la construcción. El emplazamiento de la nave pertenece a la zona C.

En cuanto al **grado de aspereza**, en este caso se trata de un grado de aspereza III (zona rural accidentada o llana con obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas).

El **periodo de servicio** es de 50 años.

Para terminar, se han de introducir los huecos existentes en la nave. Se introducen las coordenadas de cada uno de ellos siguiendo la disposición mostrada en la siguiente figura:

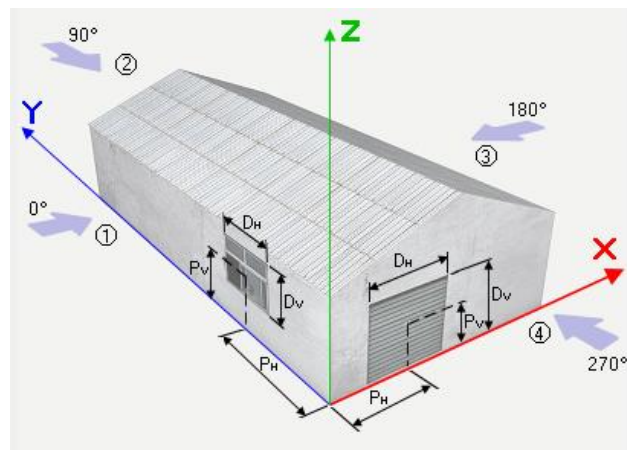


Fig.14. Esquema para introducción de huecos.

Los huecos existentes son los siguientes:

Fachada	Dh (m)	Dv (m)	Ph (m)	Pv (m)
Frontal (4)	10.00	5.00	20.00	3.00
Trasera (2)	22.60	5.00	13.70	3.00

Los huecos están permanentemente abiertos

Fig. 15. Introducción de huecos

Los huecos existentes, permiten que aparezca el viento interior, ya sea de presión o de succión, que se suma algebraicamente a los valores de viento exterior para cada zona de la nave. De esta manera, el módulo de generador de pórticos crea las siguientes 12 hipótesis de viento:

1. V H1: Cubiertas aisladas
2. V H2: Cubiertas aisladas
3. V H3: Cubiertas aisladas
4. V H4: Cubiertas aisladas
5. V H5: Cubiertas aisladas
6. V H6: Cubiertas aisladas
7. V H1: Viento a 0°, presión exterior tipo 1 Succión interior
8. V H2: Viento a 0°, presión exterior tipo 2 Succión interior
9. V H1: Viento a 90°, presión exterior tipo 1 Succión interior
10. V H1: Viento a 180°, presión exterior tipo 1 Succión interior
11. V H2: Viento a 180°, presión exterior tipo 2 Succión interior
12. V H1: Viento a 270°, presión exterior tipo 1 Succión interior

- **Sobrecarga de nieve**

En cuanto a la sobrecarga de nieve, se define la zona en la que se encuentra la construcción y su exposición ante el viento. En este caso la construcción se encuentra en la zona 1 a una altura topográfica de 130m sobre el nivel de mar y la exposición es “normal”.

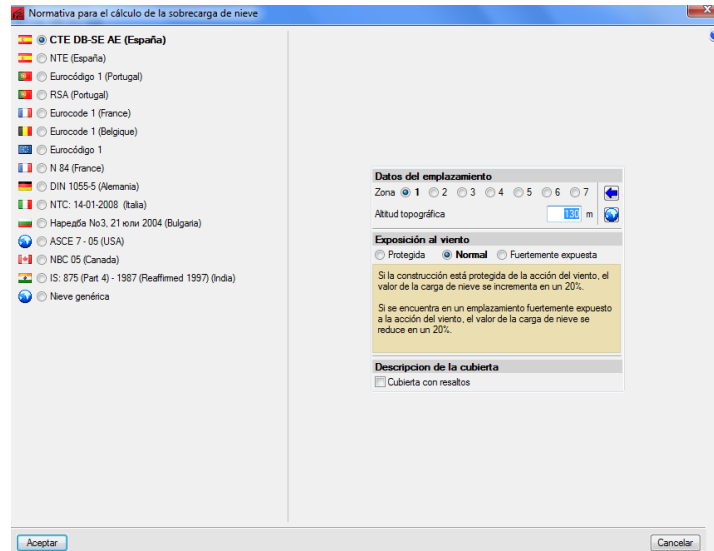


Fig.16. Datos generales para la sobrecarga de nieve.

La exposición al viento es un dato a tener en cuenta, ya que tal y como se cita en la norma, *si la construcción está protegida de la acción del viento el valor de la carga de nieve se incrementa en un 20 %*. En cambio, *si se encuentra en un emplazamiento fuertemente expuesto a la acción del viento, el valor de la carga de nieve se reduce en un 20%*.

Para escoger la zona se parte del mapa mostrado a continuación, escogiendo la comunidad autónoma en la que se sitúa:

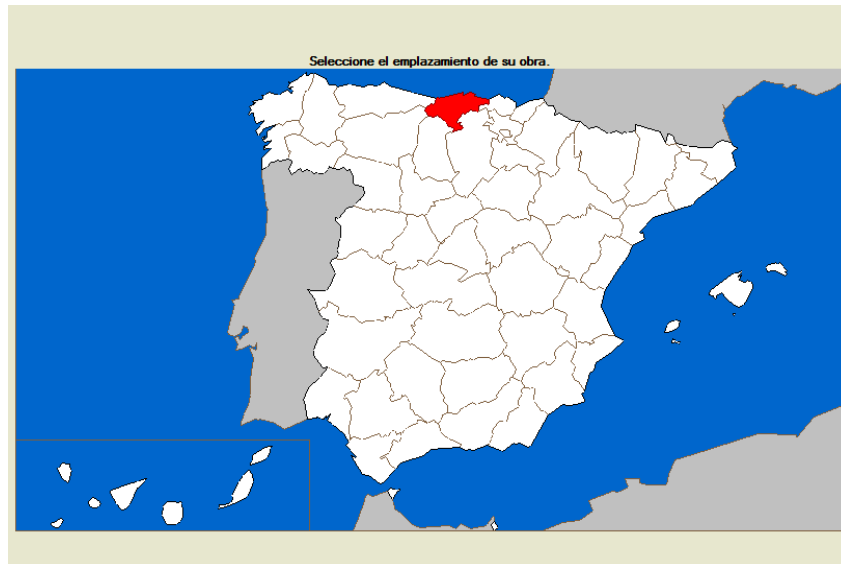


Fig.17. Mapa de emplazamiento.

Posteriormente, se define la población concreta en la que se encuentra, Castro Urdiales.

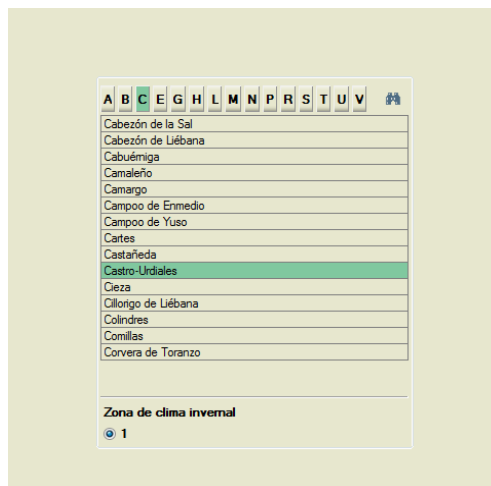


Fig.18. 25. Emplazamiento: Población.

Una vez introducidos todos los datos, el generador de pórticos crea 3 situaciones de sobrecarga de nieve:

- 1 - N(EI): Nieve (estado inicial)
- 2 - N(R) 1: Nieve (redistribución) 1
- 3 - N(R) 2: Nieve (redistribución) 2

La sobrecarga de nieve en general, se distribuye de manera simétrica sobre toda la superficie de la cubierta de la nave. Sin embargo, en ocasiones, tal y como cita la normativa en su apartado 3.5.3 Coeficiente de forma, “se tendrán en cuenta las posible distribuciones asimétricas de

nieve, debidas al transporte de la misma por efecto del viento, reduciendo a la mitad el coeficiente de forma en las partes en que la acción sea favorable.” Situaciones contempladas en las hipótesis anteriores.

Combinaciones de cargas para cálculo de correas

A continuación, se muestra el listado completo de todas las hipótesis de las sobrecargas existentes que más adelante el programa se encarga de combinar para realizar el cálculo de las correas:

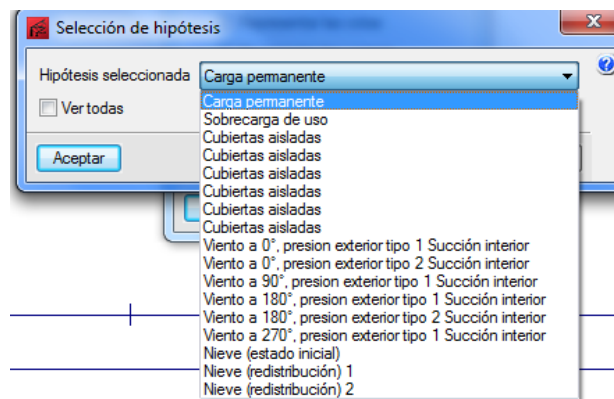


Fig.19. Hipótesis de sobrecargas.

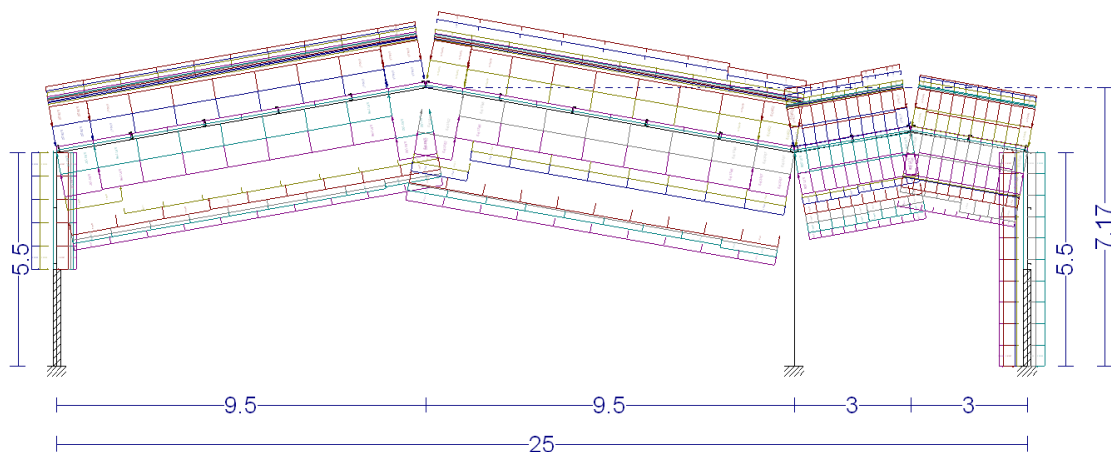


Fig.20. Distribución gráfica de hipótesis.

3.5.4.3. Cálculo de las correas de cubierta

Las correas son vigas formadas por perfiles metálicos conformados en frío que soportan directamente su propio peso, el del cerramiento y las cargas

(nieve, viento, etc). Todas ellas se transmiten a los pórticos y posteriormente a las cimentaciones. Están dispuestas de forma transversal a los pórticos de la estructura.

En el caso de las correas de cubierta, su función principal es el soporte de la cubierta, evitando que ésta se desplome o alcance flechas críticas. En estos casos, se busca principalmente la ligereza del conjunto, por lo que las correas elegidas serán aquellas que proporcionen el menor peso posible sin dejar de lado la resistencia a las cargas permanentes como son el peso propio de la cubierta, las sobrecargas variables (viento, nieve, sobrecarga de uso...) y todas las combinaciones posibles de estas. Es por esto que se suelen usar perfiles conformados debido a su bajo peso, aceptable resistencia y gran aprovechamiento de material.

En cuanto al cálculo, en el caso del programa CYPE, en su módulo del generador de pórticos, utiliza un modelo de viga continua con un número de vanos variable. Además el cálculo de tensiones y flechas generadas se realiza según el CTE.

3.5.4.3.1. Datos de cálculo

En primer lugar, se introduce el límite de flecha adecuado para las correas de la nave. Tal y como hace referencia el CTE en su Documento Básico de Seguridad Estructural en su apartado 4.3.3.1 Flechas: *“Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:*

- a) *1/500 en pisos con tabiques frágiles*
- b) *1/400 en pisos con tabiques ordinarios*
- c) *1/300 en el resto de los casos”*

En ese caso, se trata del caso c), por lo que la flecha es de $L/300$, siendo L la longitud de la pieza.

Además, las correas tienen una longitud de 3 vanos y se unen rígidamente a la cubierta. La fijación rígida permite reducir el momento flector de la correa en cada uno de sus vanos, sin embargo, aumenta el momento flector que aparece en los apoyos de dichas correas. Esto permite la reducción de la flecha en las correas, pero aumenta los momentos en los apoyos.

La reducción de los momentos en los apoyos se estabiliza cuando la correa tiene 3 o más vanos, de manera que la elección de tres vanos permite optimizar el perfil y disminuir la flecha de los elementos.

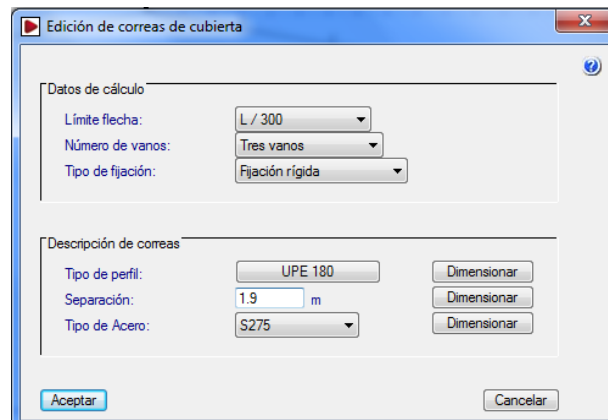


Fig.21. Edición de correas de cubierta.

3.5.4.3.2. Descripción de correas

En este apartado, se define el tipo de perfil a utilizar y el tipo de acero del que se va a disponer. Para el perfil se ha escogido un perfil UPE y en cuanto al material, el acero seleccionado es el S 275, muy utilizado y adecuado para cumplir con todos los requerimientos de la obra.

El perfil escogido es uno de los más habituales para correas en cubiertas que no superen el 20% de inclinación, Además, El montaje y la unión atornillada de la cubierta se realiza con cierta rapidez.

Por último, se introduce la separación entre correas que se ha considerado como óptima, teniendo en cuenta la geometría del faldón y siempre que el perfil resultante no sea excesivo. El programa dimensiona el perfil de acuerdo a los datos introducidos, obteniendo el resultado siguiente:

Nombre	Peso (kN/m ²)	Texto de comprobación
⚠ UPE 80	0.04	Aprovechamiento: 724.57 %
⚠ UPE 100	0.05	Aprovechamiento: 376.48 %
⚠ UPE 120	0.06	Aprovechamiento: 215.02 %
⚠ UPE 140	0.07	Aprovechamiento: 130.83 %
✅ UPE 160	0.09	Aprovechamiento: 86.42 %
✅ UPE 180	0.10	Aprovechamiento: 58.43 %
✅ UPE 200	0.12	Aprovechamiento: 41.60 %
✅ UPE 220	0.14	Aprovechamiento: 29.77 %
✅ UPE 240	0.16	Aprovechamiento: 22.31 %
✅ UPE 270	0.18	Aprovechamiento: 15.39 %
✅ UPE 300	0.23	Aprovechamiento: 11.40 %
✅ UPE 330	0.27	Aprovechamiento: 8.97 %
✅ UPE 360	0.32	Aprovechamiento: 7.61 %
✅ UPE 400	0.37	Aprovechamiento: 6.03 %

Resultados:

- Tipo de perfil: UPE 160

- Separación: 1.90 m
- Tipo de acero: S275

Los resultados de los porcentajes de aprovechamiento:

- Tensión: 50.55%
- Flecha: 86.42%

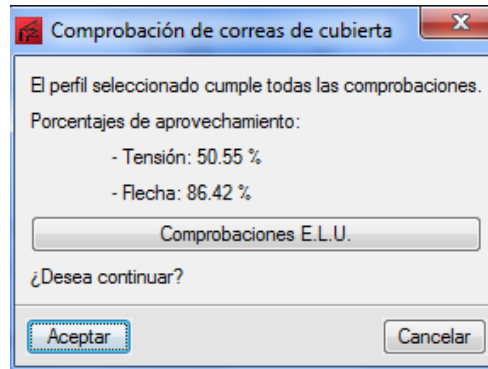


Fig.22. Porcentajes de aprovechamiento.

3.5.4.3.3. Comprobaciones

Las correas se comprueban tanto para el estado límite último (E.L.U.) como para el estado límite de servicio (E.L.S.), por lo que se verifica el cumplimiento de los límites de tensión y de flecha máxima. Además, se comprueba el pandeo lateral sufrido por los perfiles.

- Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Aprovechamiento: 50.55 %

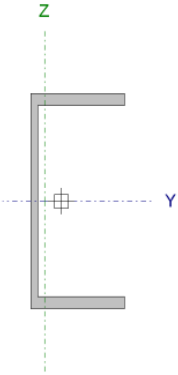
Barra pésima en cubierta

Perfil: UPE 160 Material: S275

Perfil: UPE 160
Material: S275

Nodos	Longitud (m)	Características mecánicas						
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)	
18.064, 5.000, 5.664	18.064, 10.000, 5.664	5.000	21.70	911.10	106.80	5.20	-12.30	0.00

Notas:
⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado
⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme
⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad



	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
b	0.00	1.00	0.00	0.00
L _K	0.000	5.000	0.000	0.000
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000
C ₁	-		1.000	

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

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ	I _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
pésima en cubierta	N.P. ⁽¹⁾	I _w < I _{w,max} Cumple	N _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m h = 50.5	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m h = 10.9	V _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽⁵⁾	h < 0.1	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE h = 50.5

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

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	\bar{l}	l_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_y V_z$	$M_z V_y$	
<i>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</i>																
<i>(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.</i>																
<i>(2) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.</i>																
<i>(3) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.</i>																
<i>(4) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.</i>																
<i>(5) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.</i>																
<i>(6) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</i>																
<i>(7) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</i>																
<i>(8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</i>																
<i>(9) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.</i>																
<i>(10) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</i>																

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

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

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

Se debe satisfacer:

25.64 ≤ 247.39



Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w :	$\frac{141.00}{5.50}$ Mm
t_w : Espesor del alma.	t_w :	$\frac{7.76}{6.65}$ cm ²
A_w : Área del alma.	A_w :	$\frac{0.30}{210000}$ MPa
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	$\frac{275.00}{210000}$ MPa
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k :	
E : Módulo de elasticidad.	E :	
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} :	
Siendo:		

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.505} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

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

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

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 18.064, 5.000, 5.664, para la combinación de acciones $1.35\cdot G1 + 1.35\cdot G2 + 1.05\cdot Q + 0.75\cdot N(R) 1 + 1.50\cdot V H3$.

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

$$M_{Ed}^- : \quad \underline{17.42} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \quad \underline{34.47} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \quad \underline{131.60} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$g_{M0} : \underline{\quad 1.05 \quad}$$

Resistencia a pandeo lateral:

(CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{\quad 0.109 \quad} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 18.064, 5.000, 5.664, para la combinación de acciones $1.35 \cdot G1 + 1.35 \cdot G2 + 1.05 \cdot Q + 0.75 \cdot N(R) 1 + 1.50 \cdot V H3$.

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

$$V_{Ed} : \underline{\quad 14.56 \quad} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \quad \underline{133.07} \quad \text{kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \quad \underline{8.80} \quad \text{cm}^2$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \quad \underline{160.00} \quad \text{mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \quad \underline{5.50} \quad \text{mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$g_{M0} : \quad \underline{1.05}$$

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

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

$$25.64 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \quad \underline{25.64}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \quad \underline{64.71}$$

e: Factor de reducción. **e :** 0.92

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.	f_{ref} :	<u>235.00</u>	MPa
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u>	MPa

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

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

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

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

14.56 kN ≤ 66.53 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot G1 + 1.35 \cdot G2 + 1.05 \cdot Q + 0.75 \cdot N(R) + 1.50 \cdot V H3$.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed} :** 14.56 kN

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V_{c,Rd} :** 133.07 kN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 86.42 %

Coordenadas del nudo inicial: 8.564, 45.000, 7.006

Coordenadas del nudo final: 8.564, 40.000, 7.006

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis $1.00 \cdot G1 + 1.00 \cdot G2 + 1.00 \cdot Q + 1.00 \cdot N(EI) + 1.00 \cdot V H2$ a una distancia 2.500 m del origen en el primer vano de la correa.

($I_y = 911 \text{ cm}^4$) ($I_z = 107 \text{ cm}^4$)

3.5.4.4. Cálculo de las correas laterales

La función de las correas es la de soportar el cerramiento lateral y permitir su sujeción. Al igual que las correas de cubierta, se disponen transversalmente a los pórticos, sirviendo estos de apoyo para dichas correas.

3.5.4.4.1. Datos de cálculo

Al igual que en las correas de cubierta, se toma como referencia el CTE en su apartado 4.3.3.1 de su Documento Básico de Seguridad Estructural, por lo que la flecha de las correas laterales se ve limitada a $L / 300$, siendo L la longitud de la pieza.

Tal y como se muestra en la figura, las correas son de tres vanos y tienen fijación rígida con los pórticos.

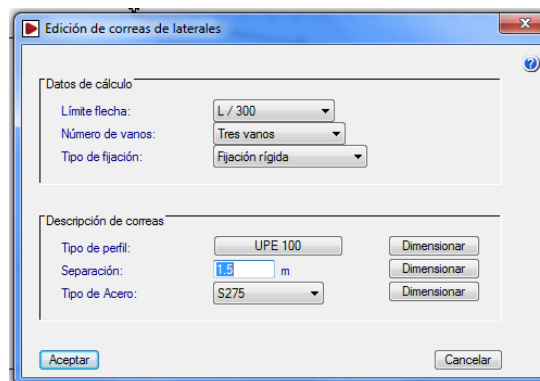


Fig.23. Parámetros correas laterales.

3.5.4.4.2. Descripción de correas

Siguiendo los criterios empleados para las correas de cubierta, se ha escogido un acero S275 y el perfil es de tipo UPE, muy utilizado para estos elementos. En cuanto a la separación entre correas se ha considerado que sea de 1,5m.

Para estos parámetros el programa optimiza el perfil obteniendo como resultado un UPE 100.

Nombre	Peso (kN/m ²)	Texto de comprobación
▲ UPE 80	0.05	Aprovechamiento: 158.49 %
■ UPE 100	0.06	Aprovechamiento: 82.12 %
■ UPE 120	0.08	Aprovechamiento: 46.74 %
■ UPE 140	0.09	Aprovechamiento: 28.34 %
■ UPE 160	0.11	Aprovechamiento: 18.65 %
■ UPE 180	0.13	Aprovechamiento: 12.56 %
■ UPE 200	0.15	Aprovechamiento: 8.90 %
■ UPE 220	0.17	Aprovechamiento: 6.33 %
■ UPE 240	0.20	Aprovechamiento: 4.72 %
■ UPE 270	0.23	Aprovechamiento: 3.61 %
■ UPE 300	0.29	Aprovechamiento: 2.66 %
■ UPE 330	0.35	Aprovechamiento: 2.06 %
■ UPE 360	0.40	Aprovechamiento: 1.72 %
■ UPE 400	0.47	Aprovechamiento: 1.34 %

Fig.24. Perfil optimo correas laterales.

Resultados:

- Tipo de perfil: UPE 100
- Separación: 1.50 m
- Tipo de acero: S275

Los resultados de los porcentajes de aprovechamiento:

- Tensión: 33.97%
- Flecha: 82.12%

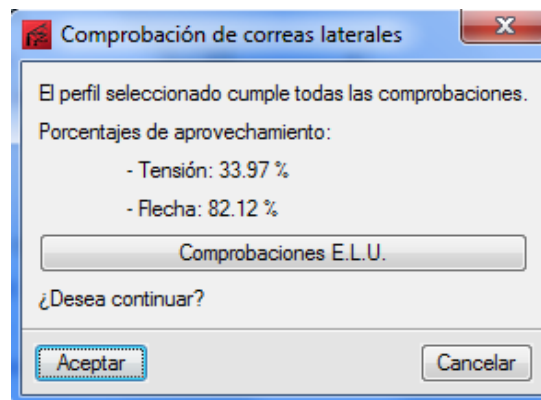


Fig.25. Porcentajes de aprovechamiento.

3.5.4.4.3 Comprobaciones

- Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Aprovechamiento: 33.97 %

Barra pésima en lateral

Perfil: UPE 100 Material: S275

Perfil: UPE 100
Material: S275

Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas					
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (m)	z _g ⁽³⁾ (m)
Inicial: 0.000, 5.000, 0.750 Final: 0.000, 0.000, 0.750	5.000	12.50	206.90	38.21	2.01	-8.40	0.00

Notas:
 (1) Inercia respecto al eje indicado
 (2) Momento de inercia a torsión uniforme
 (3) Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.00	1.00	0.00	0.00
L _K	0.000	5.000	0.000	0.000
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000
C ₁	-		1.000	

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

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
pésima en lateral	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	N _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m h = 34.0	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m h = 7.4	V _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽⁵⁾	x: 0 m h < 0.1	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE h = 34.0

Notación:

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

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	λ	l_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	
<i>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</i>															
<i>(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.</i>															
<i>(2) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.</i>															
<i>(3) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.</i>															
<i>(4) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.</i>															
<i>(5) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.</i>															
<i>(6) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</i>															
<i>(7) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</i>															
<i>(8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</i>															
<i>(9) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.</i>															
<i>(10) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</i>															

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

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

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

Se debe satisfacer:

18.89 ≤ 220.60



Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w :	<u>85.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w :	<u>4.50</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w :	<u>3.83</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	<u>4.13</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k :	<u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E :	<u>210000</u> MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} :	<u>275.00</u> MPa

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.340} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 5.000, 0.750, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(270^\circ) H1$.

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

$$M_{Ed}^+ : \quad \underline{4.27} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

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

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

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

$$M_{c,Rd} : \quad \underline{12.57} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \quad \underline{48.01} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$g_{Mo} : \underline{\quad 1.05 \quad}$$

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{\quad 0.074 \quad} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 5.000, 0.750, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(270^\circ) H1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{\quad 5.04 \quad} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \quad \underline{68.04} \quad \text{kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \quad \underline{4.50} \quad \text{cm}^2$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \quad \underline{100.00} \quad \text{mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \quad \underline{4.50} \quad \text{mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$g_{M0} : \quad \underline{1.05}$$

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

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

$$18.89 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \quad \underline{18.89}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \quad \underline{64.71}$$

e: Factor de reducción. **e :** 0.92

Siendo:

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

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y :** 275.00 MPa

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

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

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

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

5.04 kN ≤ 34.02 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo 0.000, 5.000, 0.750, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(270^\circ)$ H1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed} :** 5.04 kN

V_{c,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V_{c,Rd} :** 68.04 kN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. Porcentajes de aprovechamiento: - Flecha: 82.12 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.000, 5.000, 0.750

Coordenadas del nudo final: 0.000, 0.000, 0.750

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis $1.00 \cdot G1 + 1.00 \cdot G2 + 1.00 \cdot V(270^\circ)$ H1 a una distancia 2.500 m del origen en el tercer vano de la correa.

($I_y = 207 \text{ cm}^4$) ($I_z = 38 \text{ cm}^4$)

3.5.5. CÁLCULOS EN CYPE 3D

Una vez definidas las dimensiones de la estructura global y las de los pórticos que la componen, y calculados tanto los cerramientos, como las correas laterales y de cubierta; se procede a la creación de la nave en 3D mediante el módulo CYPE 3D.

Para realizar la exportación, se parte del generador de pórticos, que tiene en cuenta los cálculos anteriormente citados y las hipótesis de carga generadas en el mismo, a partir de las acciones permanentes, variables y accidentales existentes.

En el módulo CYPE 3D se definen el resto de parámetros de la estructura y se dimensionan todos los elementos que la componen, realizando todas las comprobaciones requeridas para la construcción de la obra.

3.5.5.1. Exportación a CYPE 3D

En primer lugar se definen las características de los pórticos que conforman la estructura.

- Configuración de apoyos:

Los pórticos son biempotrados, es decir, los pilares tienen un empotramiento en su base (la cimentación). Esta elección influye a la hora de considerar las diferentes posibilidades de longitudes de pandeo.

- Opciones de pandeo:

En este caso, a la hora de definir las longitudes de pandeo, es fundamental la elección entre pandeo en pórticos traslacionales o intraslacionales. Para ello, el programa se basa en lo siguiente:

“El programa generara las longitudes de pandeo para todas las barras del pórtico asumiendo las siguientes hipótesis:

- *En pórticos biempotrados, se suponen las inercias de dintel y pilar iguales.*
- *Las correas arriostran a dinteles y pilares frente al pandeo fuera del plano del pórtico.*
- *La edificación es intraslacional en sentido longitudinal.*

Considerando estas pautas, definimos dicho parámetro en ambos planos del pórtico:

- Plano perpendicular al pórtico: La estructura es intraslacional en el sentido longitudinal debido a que existen arriostramientos en forma de Cruz de San Andrés que restringen el movimiento de las cabezas de los pilares en dicho sentido. Además, el cerramiento lateral, formado por paneles sándwich, y el muro perimetral añaden mayor restricción a dicho movimiento.
- Plano del pórtico: La estructura es traslacional, ya que no dispone de ningún sistema de arriostramiento que impida su desplazamiento horizontal. Por otro lado, en este plano únicamente se dispone de cerramiento en un tramo menor y se considera que no impide dicha traslacionalidad en su totalidad.

Por todo esto se elige la opción de pandeo en pórticos traslacionales.

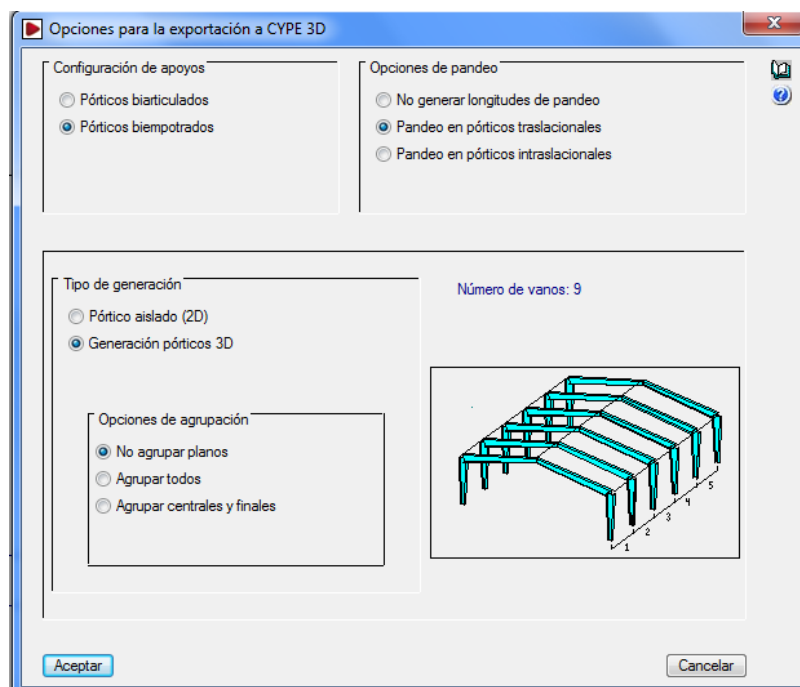


Fig.26. Características de los pórticos.

3.5.5.2. Creación de la estructura completa

Una vez realizada la exportación, y teniendo como base los pórticos generados, se procede a introducir el resto de elementos que completan la estructura. Este proceso se realiza mediante la introducción de barras de

diferente perfil de acuerdo a la función que deban cumplir dentro de la estructura.

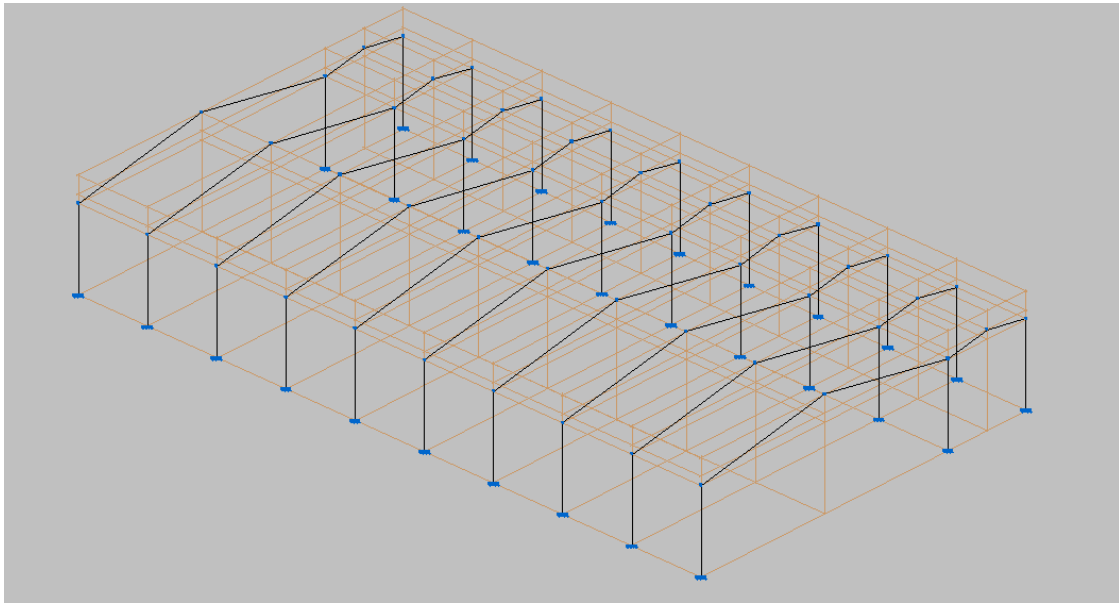


Fig.27. Pórticos exportados a 3D.

Los tipos de barras a introducir son las siguientes:

- Vigas de atado:

Estas barras están dispuestas en el sentido longitudinal de la nave y se encargan de atar las cabezas de los pilares de los diferentes pórticos entre sí. Además de eso, entre los pórticos hastiales y sus contiguos se han introducido tanto en las cumbreras como en la zona central de cada faldón.

Se trata de barras biarticuladas y se ha escogido un tipo de **perfil metálico IPE**.

- Pilarillos:

Por otro lado se disponen pilarillos o pilares hastiales tanto en la fachada frontal como en la trasera, de manera que proporcionen una resistencia adecuada al viento en sentido longitudinal a la nave. Estos pilares trabajan esencialmente a la flexión que les imponen sus respectivas fachadas, por lo que van articulados a su base con el objetivo de conseguir un momento flector positivo mayor, haciendo así que estos pilares trabajen más. Además, al articularlos eliminamos la posibilidad de que estos transmitan momento a la zapata, con lo que ahorraremos volumen de hormigón.

Por otro lado, los pilarillos posibilitan la sujeción de tramo de cerramiento frontal y trasero del que disponemos, ya que a su vez son sostenidas por los pilarillos.

El perfil escogido para ellos es un **perfil metálico tipo HEB**.

- Arriostramientos de cubierta:

Los pórticos hastiales están arriostrados con sus contiguos por medio de Cruces de San Andrés. Estos arriostramientos están formados por dos tirantes diagonalmente dispuestos, y su función es la de reforzar la estructura en su sentido longitudinal. Esto se debe a que los esfuerzos horizontales generados por el viento en sentido transversal a la estructura son absorbidos por los pórticos que trabajan en su eje de mayor inercia, en cambio cuando el viento incide longitudinalmente se generan esfuerzos en el sentido del eje de menor inercia de los pórticos.

Para dichos elementos se ha empleado un perfil del tipo **tirante redondo macizo**, para los que el programa realiza los cálculos basándose en lo siguiente:

“El hecho de que los tirantes o tensores son barras de eje recto que admiten sólo esfuerzos de tracción en la dirección de su eje (biarticuladas), implica que su modelización sólo sería estrictamente exacta si se hiciese un análisis no lineal de la estructura para cada combinación de hipótesis, en el que deberían suprimirse en cada cálculo todos aquellos tirantes cuyos axiles sean de compresión.

Además, para evaluar el comportamiento sísmico de la estructura, sin permitir compresiones en los tirantes, sería necesario realizar un análisis en el dominio del tiempo, introduciendo la carga de sismo mediante acelerogramas.

Como aproximación al método exacto, proponemos un método alternativo cuyos resultados, en los casos que cumplen con las condiciones que se detallan a continuación, son suficientemente aceptables para la práctica habitual del diseño de tirantes, y permiten un análisis integrado de la estructura completa.

El método tiene las siguientes limitaciones, cuyo cumplimiento comprueba el programa:

- El tirante forma parte de un recuadro arriostrado en forma de cruz de San Andrés enmarcado en sus cuatro bordes, o en tres, si la rigidización llega a dos vínculos exteriores. Además cada recuadro debe formar un rectángulo (los cuatro ángulos interiores rectos).

- El área transversal de los tirantes es menor que el 20.0 % del área del resto de elementos (vigas y pilares) que completan el recuadro arriostrado (cruz de San Andrés).
- Las dos diagonales (tirantes) de un mismo recuadro arriostrado deben tener la misma sección transversal, es decir, el mismo tipo de perfil y el mismo tipo de acero."

- Entramado lateral:

Siguiendo el mismo criterio que en los arriostramientos de la cubierta, se disponen únicamente entre los pórticos hastiales y sus contiguos. En este caso, el entramado lateral se coloca a partir de una altura de 2m, ya que hasta dicha altura se encuentra el muro perimetral cumpliendo la misma función.

Se ha escogido en perfil de tipo **tirante redondo macizo** para las Cruces de San Andrés.

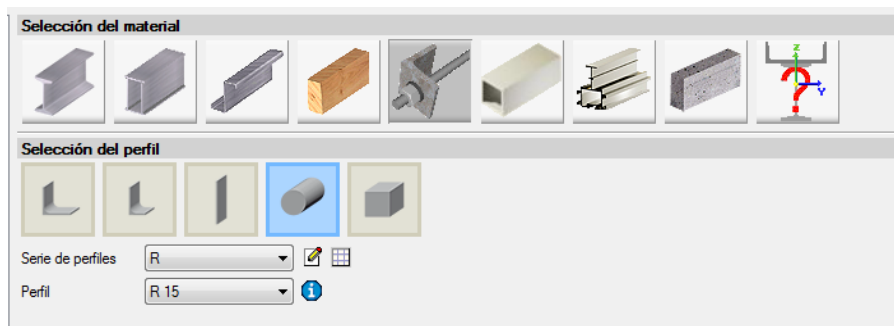


Fig.28. Tirante redondo macizo.

A continuación se muestra la estructura al completo:

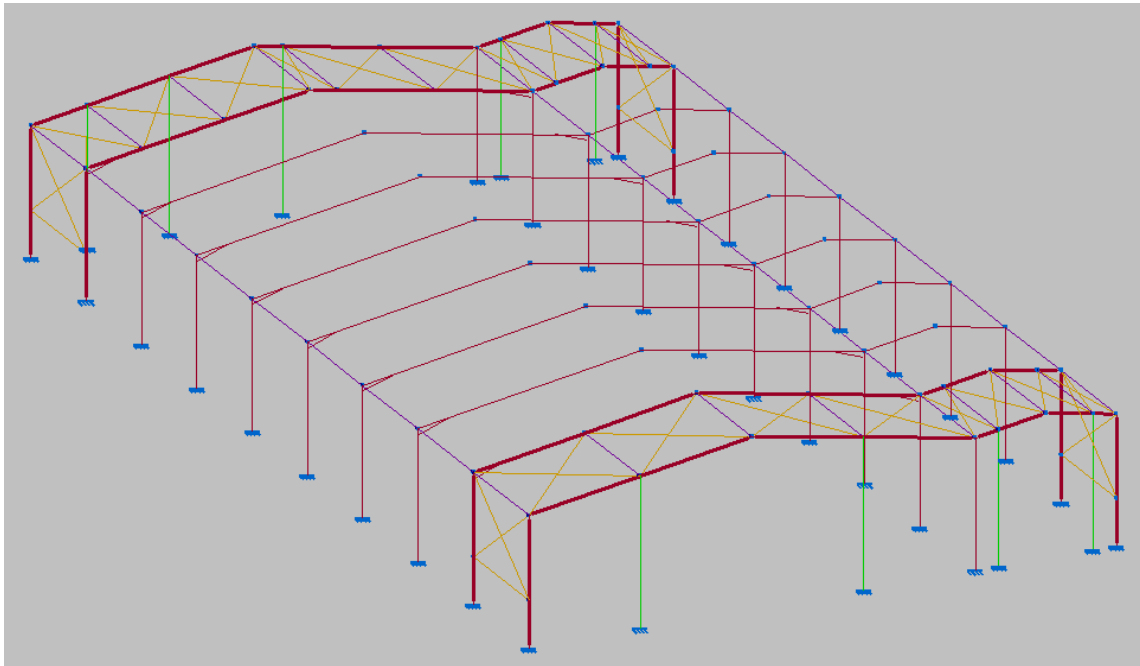


Fig.29. Estructura completa 3D.

3.5.5.3. Estudio de pandeo

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, tales como pilares y columnas, y que se manifiesta por la aparición de una flexión adicional en el pilar cuando se halla sometido a la acción de esfuerzos axiales de compresión de cierta importancia.

La aparición de dicha flexión limita severamente la resistencia de la pieza ante los esfuerzos de compresión que soporta y ante pequeños incrementos de esos esfuerzos la deformación aumenta considerablemente.

Para estudiar los efectos por pandeo debidos a los axiales de compresión en la dirección del eje del elemento, se puede definir la longitud efectiva del pandeo L_k , o el coeficiente de pandeo β , tal que $L_k = \beta \cdot L$, siendo L la distancia entre los nudos de la barra.

La longitud efectiva de pandeo se define como la distancia entre dos puntos de inflexión del elemento estructural sometido a pandeo.

Para determinar la longitud efectiva se toma como referencia el CTE en su DB SE-A, concretamente en el apartado 6.3.2, según la tabla siguiente:

Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	biempotrada desplazable	en ménsula
Longitud L_k	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L

Fig.30. Longitud de pandeo de barras canónicas.

La aplicación de esta tabla se fundamenta en la descripción de las condiciones en los extremos de las barras. Por otro lado, se han de tener en cuenta las condiciones de contorno que restringen la posible flexión de la barra, tales como los cerramientos, coreas etc. Además, es importante tener en cuenta que la nave es traslacional en sentido transversal e intraslacional en el sentido longitudinal, ya que en el primero de los casos el pandeo es más crítico.

Teniendo presente lo anteriormente expuesto, el programa genera los siguientes coeficientes de pandeo:

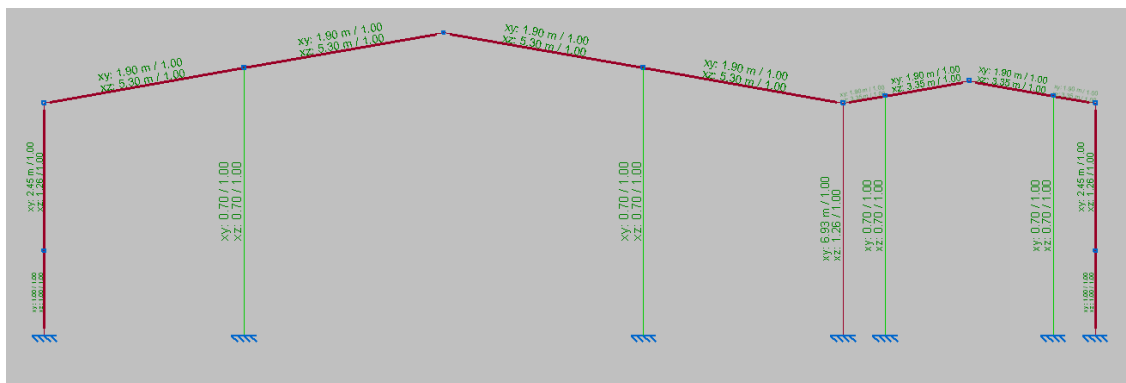


Fig.31. Coeficientes de pandeo.

El programa designa dos coeficientes de pandeo para cada pieza, de acuerdo a los planos principales de los perfiles, es decir, el plano débil y el plano fuerte.

- **El plano débil** del perfil es el plano “xy”, correspondiente al plano paralelo a las alas del perfil.
- **El plano fuerte** del perfil es el plano “xz”, correspondiente al plano que paralelo al alma de la pieza.

En la siguiente figura se muestran las diferentes opciones que permite el programa, bien introducir el coeficiente de pandeo o directamente la longitud equivalente:

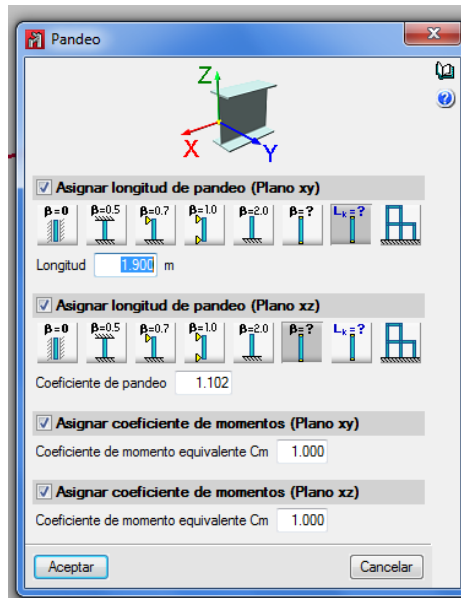


Fig.32. Opciones de pandeo.

Una vez analizados los valores obtenidos en el programa, se procede a definir y justificar los valores de cada tipo de barra:

- Coeficiente de pandeo en dinteles:

- Plano xy: $L_k=1,90\text{m}$.

La longitud efectiva es igual a la distancia entre las correas de cubierta, ya que se unen rígidamente al dintel.

- Plano xz: $\beta=1.10$

Valor calculado por el programa, teniendo en cuenta que en este plano la estructura es traslacional.

- Coeficiente de pandeo en las vigas de atado:

- En el plano xy: $B=1$; $L_k = 5\text{m}$

- En el plano xz: $B=1$; $L_k = 5\text{m}$

Son barras biarticuladas, por lo que la longitud efectiva será igual a la longitud de las barras $L_k = L = 5\text{ m}$.

- Coeficiente de pandeo en los pilares laterales:

- Plano xy: $L_k=2,45$ m

Teniendo en cuenta que la nave dispone de un muro perimetral en ambos laterales de 2m de altura, se reduce la posibilidad de pandeo de los pilares dispuestos en dichas fachadas.

De tal manera que la longitud que queda libre del muro es de 3,5m, que multiplicado por el coeficiente de pandeo correspondiente resulta lo siguiente:

$$L_k = 3,5 \cdot 0,7 = 2,45\text{m}$$

- Plano xz: $L_k= 6,93$ m

No sucede lo mismo en el plano del pórtico, plano transversal de la nave, ya que el muro no restringe la posibilidad de pandear en ese sentido. Por lo tanto, se toma la longitud total del pilar y el coeficiente obtenido mediante el programa:

$$L_k = 5,5 \cdot 1,26 = 6,93 \text{ m}$$

- Coeficiente de pandeo en los pilares centrales:

- Plano xy: $L_k = 6,93$ m

En este caso, estos pilares no disponen de muro perimetral ni cerramiento, por lo que su longitud de pandeo se calcula de la siguiente manera:

$$L_k= 5,5 \cdot 1.26 = 6,93 \text{ m.}$$

- Plano xz: $L_k = 6,93$ m

Para el cálculo dentro del plano se toma la longitud completa del pilar que multiplicándola por el coeficiente proporcionado por el programa resulta:

$$L_k= 5,5 \cdot 1.26= 6,93 \text{ m.}$$

- Coefficiente de pandeo en los pilarillos:

- Plano xy: $B=0,7$

- Plano xz: $B=0,7$

En este caso el coeficiente de pandeo es igual a 0,7, ya que se trata de barras empotradas en su base y articuladas en la cabeza. El cálculo se realiza multiplicando la longitud de cada uno de ellos por dicho coeficiente.

3.5.5.4. Estudio del pandeo lateral

Para contrarrestar el fenómeno del pandeo lateral, tanto para el ala superior como para la inferior, se define la distancia o separación entre arriostramientos, o el coeficiente que multiplica a la longitud de la barra entre nudos, así como el coeficiente de momentos aplicable.

Estos arriostramientos se denominan tornapuntas y se disponen de manera que arriostran el cordón comprimido del dintel con las correas de cubierta.

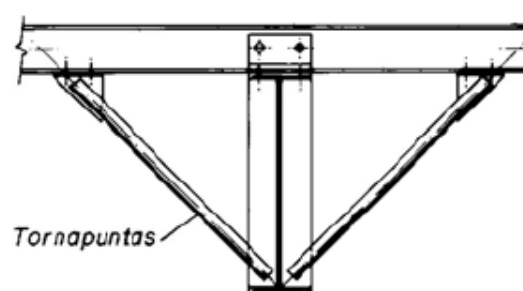


Fig.33. Arriostramiento del cordón inferior con tornapuntas.

En este caso, se dispone de estos elementos constructivos cada dos correas, por lo tanto tienen una separación de 3,8 m entre sí (2,8 m en los pórticos del almacén), y están unidos al ala inferior del dintel. El ala superior por su parte, está arriostrada en la unión con cada correa de cubierta, cada 1,9 m (1,4 m en los pórticos del almacén).

3.5.5.5. Estudio de flechas

En este apartado se trata de garantizar la aptitud al servicio del edificio, de manera que se evite la aparición de grietas y deformaciones debidas a la flecha excesiva de los elementos.

Se entiende por flecha la distancia máxima entre la recta de unión de los nudos extremos de una barra, y la deformada de la barra, sin tener en cuenta que los nudos extremos de la barra pueden haberse desplazado. Esta distancia se mide perpendicularmente a la barra. En el programa se distinguen tres tipos de flecha:

- La **flecha absoluta** es el valor en milímetros de la flecha en la dirección considerada.
- La **flecha relativa** se establece como un cociente de la luz entre puntos de intersección de la deformada con la barra, dividido por un valor a definir por el usuario, y puede haber, además de los nudos extremos de la barra con flecha nula, algún punto o puntos intermedios, en función de la deformada.
- La **flecha activa** es la máxima diferencia en valor absoluto entre la flecha máxima y la flecha mínima de todas las combinaciones definidas en el estado de desplazamientos.

$$F_a = F_{\max} - F_{\min}$$

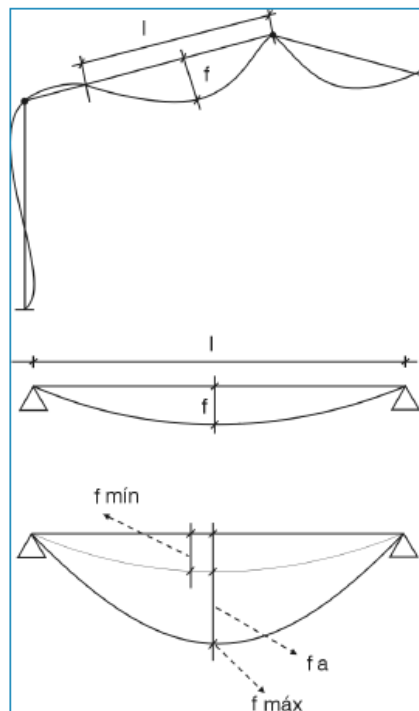


Fig.34. Flechas.

En el programa es posible establecer un límite, ya sea por un valor de la flecha máxima, de la flecha activa o de la flecha relativa respecto a cada uno de los planos xy o xz locales de la barra, o de la flecha resultante.

Para cada conjunto de barras que forman un grupo de flecha, y en cada posición de cálculo, el programa calcula los valores de la flecha máxima y de la flecha activa, a partir de las combinaciones de desplazamientos.

Los valores obtenidos se comparan con las limitaciones introducidas, expresadas como un valor absoluto, o bien, como una relación entre la flecha en un punto y la longitud de referencia 'L'. Siendo 'L' la distancia entre los puntos donde la deformada corta a la recta que une los dos extremos de la barra en sus posiciones desplazadas. En el caso de voladizos, 'L' es la longitud de la pieza si la flecha es del tipo tangente.

La figura siguiente se muestra la deformada de un pórtico en el plano 'XY' o 'XZ' para una combinación de desplazamientos cualquiera.

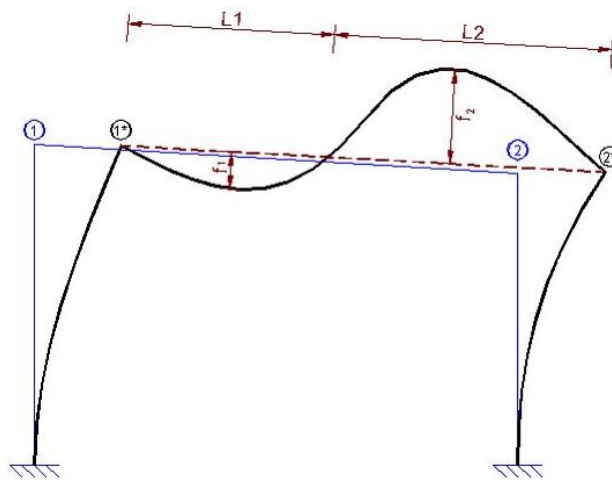


Fig.35. Deformada de ejemplo.

Si las flechas f_1 y f_2 son las flechas máximas (negativa y positiva), éstas deberán cumplir la condición de que sus valores absolutos sean menores o iguales al la flecha máxima absoluta definida por el usuario.

Además, las relaciones $|f_1|/L_1$ y $|f_2|/L_2$ deberán ser menores o iguales al límite $1/D$ indicado por el usuario como limitación para la flecha relativa.

En cuanto a la comprobación de la flecha activa absoluta, si nos basamos en la siguiente figura, en la que se representan las deformadas mínima y máxima de todas las combinaciones de desplazamientos, si llamamos 'f' a la flecha mínima (con signo) en una posición cualquiera de la barra, y 'F' a la flecha máxima en dicha posición, el valor de la flecha activa será ' $F_a = F - f$ '.

El valor máximo obtenido de la flecha activa, entre todas las posiciones de cálculo de las barras del grupo de flecha, deberá ser menor o igual al límite especificado por el usuario.

Para el cálculo de la flecha activa relativa se procede de una manera similar, con la salvedad de que para cada combinación de desplazamientos se calcula, en cada posición de cálculo, la relación entre la flecha activa antes mencionada y la longitud 'L' (distancia entre puntos donde la deformada corta a la recta que une los dos extremos de la pieza en sus posiciones desplazadas). El valor máximo de dichas relaciones deberá ser menor o igual al límite '1/D' especificado por el usuario.

Por otro lado, para definir estos parámetros se toma como referencia el CTE en su Documento Básico de Seguridad Estructural, en su apartado 4.3.3.1. Flechas, en el que se especifica:

- 1- *Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:
 - a) 1/500 en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas.
 - b) 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas
 - c) 1/300 en el resto de los casos*
- 2- *Cuando se considere el confort de los usuarios, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa, es menor que 1/350.*
- 3- *Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que 1/300.*
- 4- *Las condiciones anteriores deben verificarse entre dos puntos cualesquiera de la planta, tomando como luz el doble de la distancia entre ellos. En general, será suficiente realizar dicha comprobación en dos direcciones ortogonales.”*

Es importante determinar los valores límite de las flechas de aquellas barras susceptibles a sufrir grandes deformaciones, ya que puede llevar a poner en peligro la integridad de los elementos constructivos, el confort de los usuarios o la apariencia de la obra.

De esta manera, para el cumplimiento de los E.L.S. se establece que el límite de flecha tanto para los dinteles como para las vigas de atado de los pórticos, sea de $L/300$ en su plano xz, plano sometido a flexión.

3.5.5.6. Estudio de cargas

Las cargas introducidas en el módulo del Generador de Pórticos se traspasan automáticamente a la estructura global al realizar la exportación al CYPE 3D, por lo que únicamente habría que introducir las cargas debidas a la entreplanta y a las del puente grúa, en caso de que existan.

En nuestro caso, solo se añade la carga del peso propio del cerramiento lateral que soportan los pilares para evitar el despegue de las zapatas de los mismos. Es una carga puntual en la base de todos los pilares laterales.

Es conveniente también, para evitar el fenómeno de despegue de zapatas introducir en el arranque de cada pilar de fachada una carga puntual en la hipótesis permanente de valor igual al peso de cerramiento que soportan las vigas que atan las zapatas.

- Peso propio:

Se tienen en cuenta los pesos propios de todos los elementos que componen la estructura.

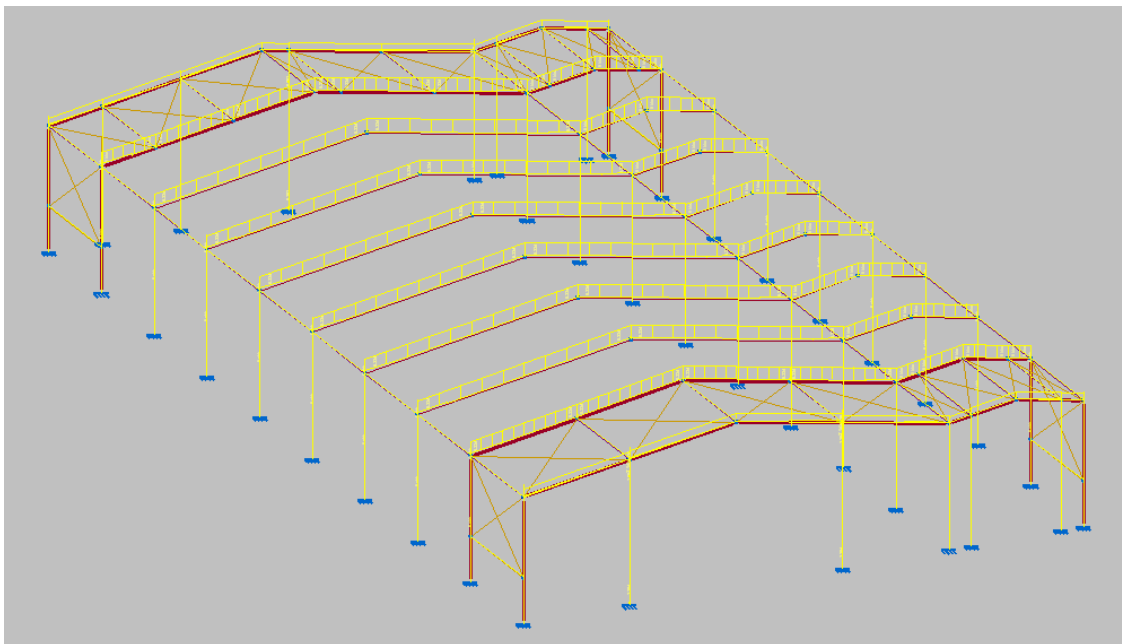


Fig.36. Peso propio.

- Sobrecarga de uso:

Se genera una única hipótesis:

1- Q

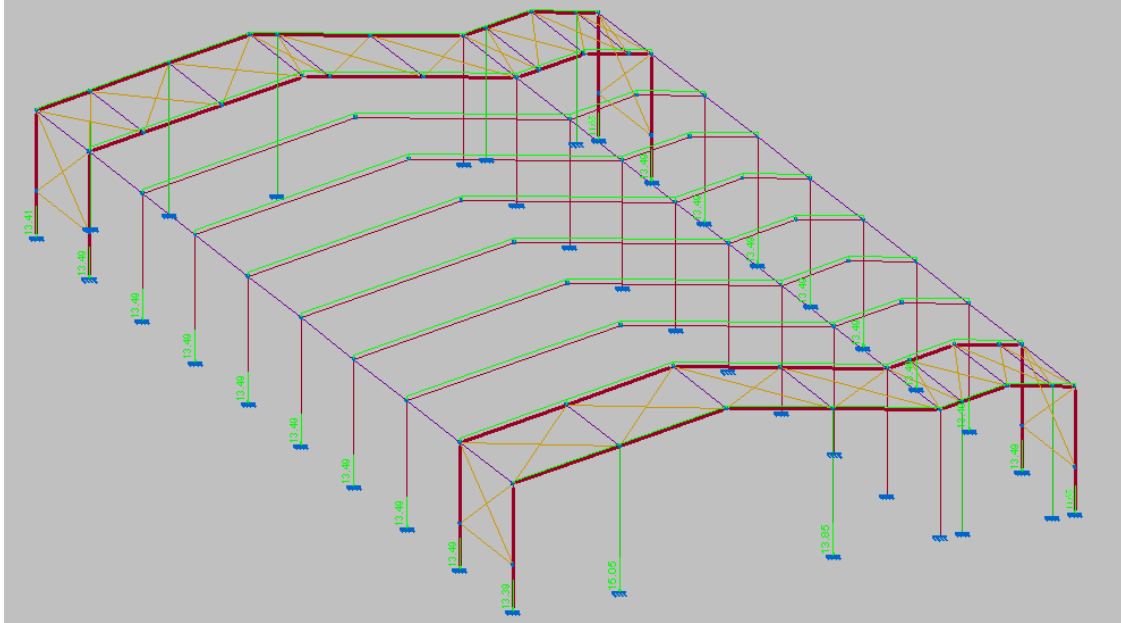


Fig.37. Sobrecarga de uso.

- Sobrecarga de viento:

Existen 12 hipótesis diferentes:

- 1- V H1: Cubiertas aisladas
- 2- V H2: Cubiertas aisladas
- 3- V H3: Cubiertas aisladas
- 4- V H4: Cubiertas aisladas
- 5- V H5: Cubiertas aisladas
- 6- V H6: Cubiertas aisladas
- 7- V(0°) H1: Viento a 0°, presión exterior tipo 1 Succión interior
- 8- V(0°) H2: Viento a 0°, presión exterior tipo 2 Succión interior
- 9- V(90°) H1: Viento a 90°, presión exterior tipo 1 Succión interior
- 10- V(180°) H1: Viento a 180°, presión exterior tipo 1 Succión interior
- 11- V(180°) H2: Viento a 180°, presión exterior tipo 2 Succión interior
- 12- V(270°) H1: Viento a 270°, presión exterior tipo 1 Succión interior

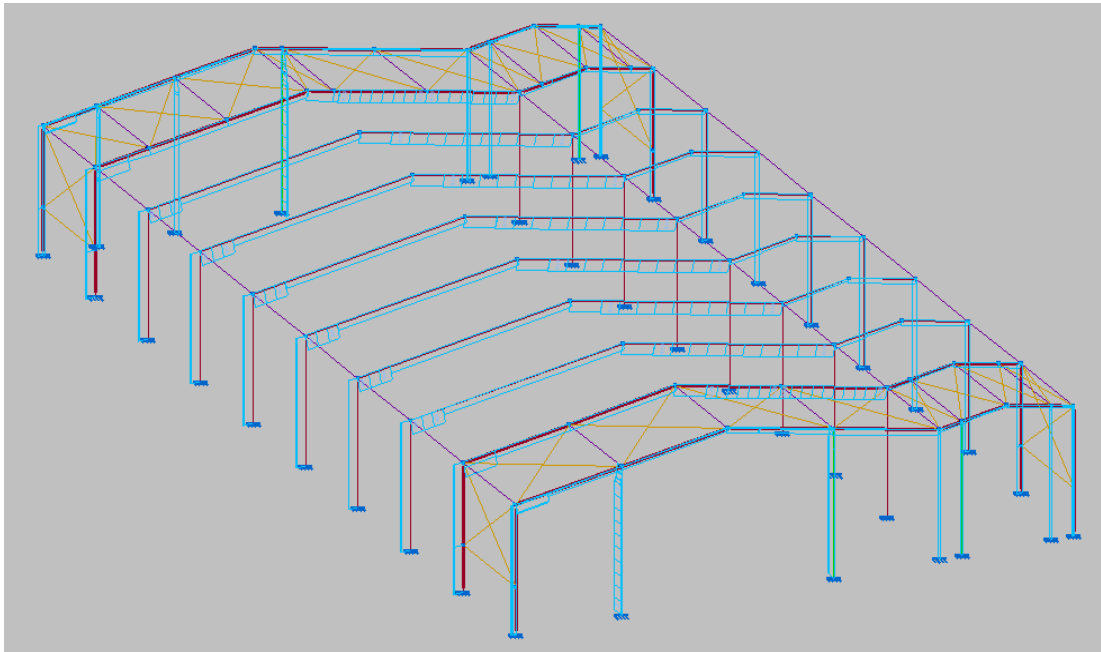


Fig.38. Sobrecarga de viento $V(0^\circ)$ H1

- Sobrecarga de nieve:

Se generan 3 hipótesis diferentes:

- 1- N (EI)
- 2- N (R) 1
- 3- N (R) 2

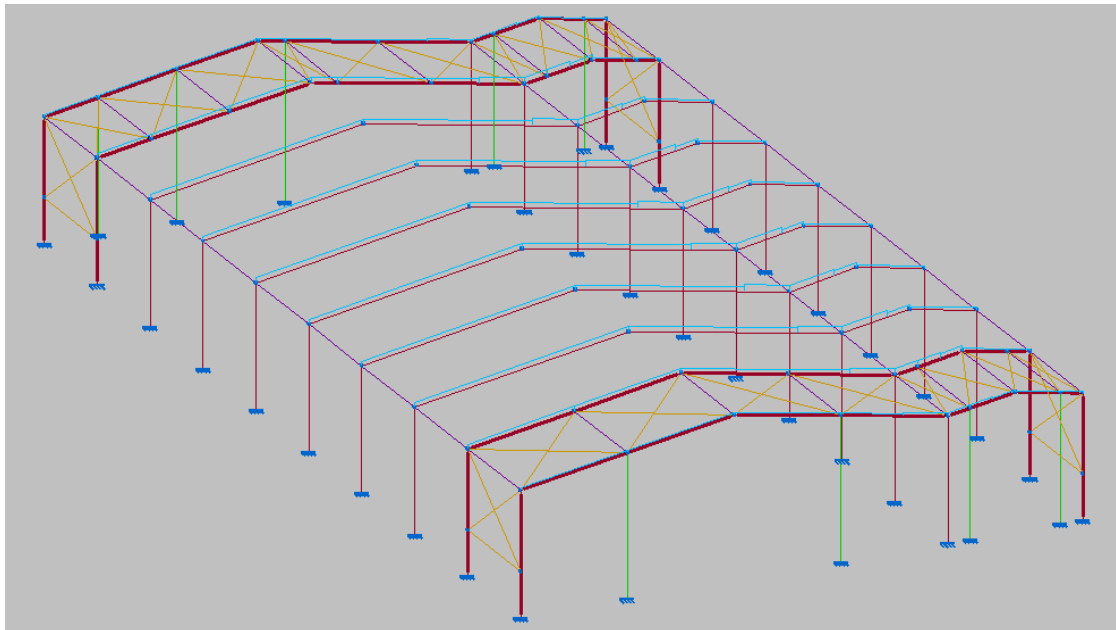


Fig.39. Sobrecarga de Nieve N(R) 2.

3.5.5.7. Perfiles de las barras

Con las cargas introducidas se procede al cálculo global de la estructura, calculando los perfiles adecuados para cada tipo de barra. Los resultados obtenidos son los mostrados en la siguiente figura:

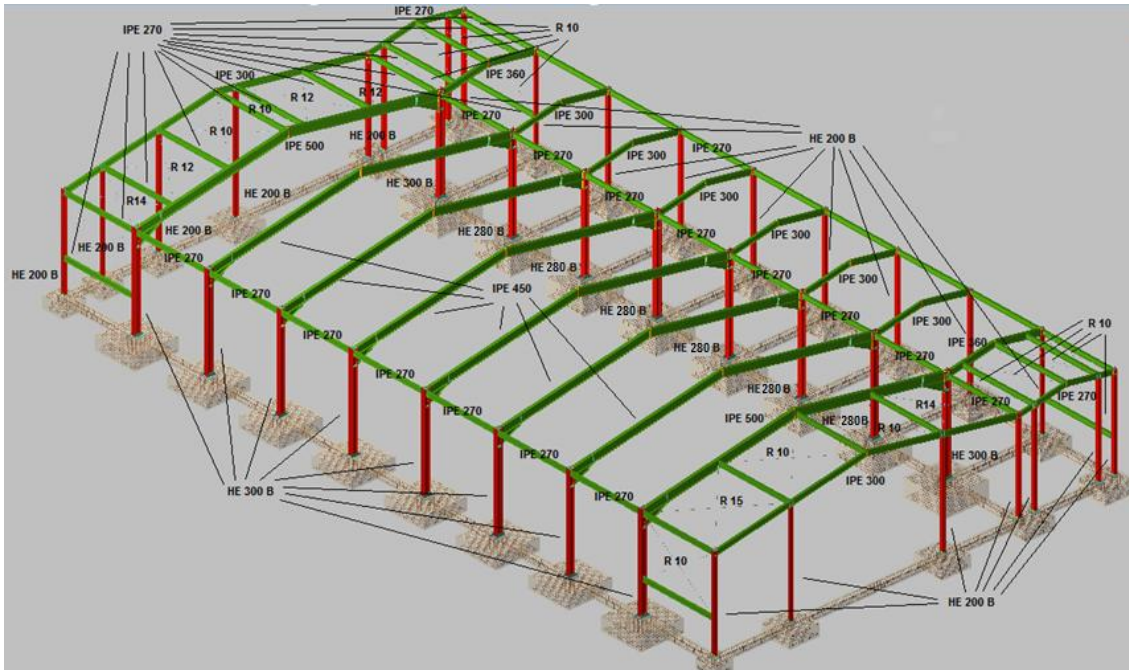


Fig.40. Resultados de los perfiles.

A continuación, se muestran las comprobaciones realizadas por el programa para la elección de cada perfil. Concretamente, únicamente se muestran las comprobaciones E.L.U. de los perfiles más solicitados de cada tipo, ya que los demás tienen comprobaciones totalmente análogas.

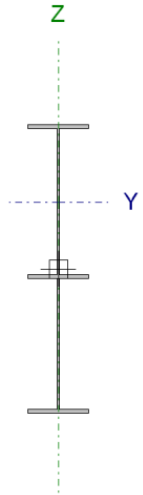
3.5.5.7.1. Dinteles

Para los dinteles de la estructura se ha seleccionado un perfil tipo IPE, que en el caso de los pórticos centrales se trata de un perfil simple con cartelas, con el objetivo de minimizar los esfuerzos en las uniones.

Según los resultados obtenidos se dispone de los siguientes tamaños de perfil: IPE 270, IPE 300, IPE 360, IPE 450 (con cartelas) y IPE 500 (con cartelas).

Se muestran a continuación las comprobaciones para el perfil más exigido de cada tipo: **perfil simple con cartelas IPE 500** y **perfil simple IPE 360**.

- Perfil simple con cartelas IPE 500:

Perfil: IPE 500, Simple con cartelas (Cartela inicial inferior: 1.40 m.)										
Material: Acero (S275)										
	Nudos		Longitud d (m)	Características mecánicas ⁽¹⁾						
	Inicia I	Fina I		Área (cm ²)	I _y ⁽²⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽²⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽³⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽⁴⁾ (mm)	z _g ⁽⁴⁾ (mm)	
	N68	N102	4.823	190.60	201255.80	3212.36	131.38	0.00	216.83	
	Notas: (1) Las características mecánicas y el dibujo mostrados corresponden a la sección inicial del perfil (N68) (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.					
		□	2.20	0.39	0.79					
		L _K	10.611	1.900	3.800					
		C _m	1.000	1.000	1.000					
		C ₁	-	-	1.000					
Notación: □: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico										

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	□□	□ _w	N _t	N _e	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z	M _z V _y	
N68/N102	x: 0.153 m □□ □ 2.0 Cumple	x: 0.677 m □ _w □ □ _{u,md} Cumple	x: 1.552 m □ = 2.5	x: 1.552 m □ = 8.6	x: 1.554 m □ = 75.9	x: 0.153 m □ = 4.0	x: 1.554 m □ = 19.7	x: 1.552 m □ = 0.2	□ < 0.1	□ < 0.1	x: 1.554 m □ = 85.6	□ < 0.1	x: 1.552 m □ = 2.8	x: 1.554 m □ = 9.8	x: 1.552 m □ = 0.1	CUMPLE □ = 85.6

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\square\square$	\square_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	M_yV_z	M_zV_y	NM_yM_z	$NM_zM_yV_yV_z$	M_t	M_yV_z	
Notación:															
$\square\square$: Limitación de esbeltez															
\square_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida															
N_t : Resistencia a tracción															
N_c : Resistencia a compresión															
M_y : Resistencia a flexión eje Y															
M_z : Resistencia a flexión eje Z															
V_z : Resistencia a corte Z															
V_y : Resistencia a corte Y															
M_yV_z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados															
M_zV_y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados															
NM_yM_z : Resistencia a flexión y axil combinados															
$NM_yM_zV_yV_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados															
M_t : Resistencia a torsión															
M_tV_z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados															
M_tV_y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados															
x : Distancia al origen de la barra															
\square : Coeficiente de aprovechamiento (%)															

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

La esbeltez reducida $\square\square$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\square\square : \underline{\underline{0.84}} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

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

$$A_{ef} : \underline{\underline{181.85}} \quad \text{cm}^2$$

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

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

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{\underline{7018.88}} \quad \text{kN}$$

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.	$N_{cr,y}$	<u>41382.92</u>	kN
---	------------	-----------------	----

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	$N_{cr,z}$	<u>18445.48</u>	kN
---	------------	-----------------	----

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	$N_{cr,T}$	<u>7018.88</u>	kN
---	------------	----------------	----

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y	<u>224792.60</u>	cm ⁴
--	-------	------------------	-----------------

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z	<u>3212.76</u>	cm ⁴
--	-------	----------------	-----------------

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t	<u>132.97</u>	cm ⁴
--	-------	---------------	-----------------

I_w : Constante de alabeo de la sección.	I_w	<u>4961783.02</u>	cm ⁶
--	-------	-------------------	-----------------

E : Módulo de elasticidad.	E	<u>210000</u>	MPa
------------------------------	-----	---------------	-----

G : Módulo de elasticidad transversal.	G	<u>81000</u>	MPa
--	-----	--------------	-----

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky}	<u>10.611</u>	M
--	----------	---------------	---

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz}	<u>1.900</u>	M
--	----------	--------------	---

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt}	<u>3.800</u>	M
---	----------	--------------	---

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

$$i_0 : \quad \underline{\quad 34.18 \quad} \quad \text{Cm}$$

Siendo:

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

$$i_y : \quad \underline{\quad 33.94 \quad} \quad \text{Cm}$$

$$i_z : \quad \underline{\quad 4.06 \quad} \quad \text{Cm}$$

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$76.16 \leq 360.50 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \quad \underline{\quad 776.87 \quad} \quad \text{Mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \quad \underline{\quad 10.20 \quad} \quad \text{Mm}$$

A_w : Área del alma.	A_w :	<u>79.24</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} :	<u>32.00</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k :	<u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E :	<u>210000</u> MPa
f_{yt} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yt} :	<u>275.00</u> MPa
Siendo:		

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.552 m del nudo N68, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·VH6.

N_{t,Ed} : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.	N_{t,Ed} :	<u>74.85</u> kN
---	---------------------------	-----------------

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

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

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.	A :	<u>116.00</u> cm ²
--	------------	-------------------------------

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

λ : 0.066 ✓

λ : 0.086 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.552 m del nudo N68, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$N_{c,Ed}$: 189.28 kN

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

$$N_{c,Rd} = \frac{2858.40}{\quad} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$C_{laser} = \frac{4}{\quad}$$

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

$$A_{ef} = \frac{109.14}{\quad} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = \frac{261.90}{\quad} \text{ MPa}$$

Siendo:

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

$$f_y = \frac{275.00}{\quad} \text{ MPa}$$

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

$$\gamma_{M0} = \frac{1.05}{\quad}$$

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

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

$$N_{b,Rd} = \frac{2208.35}{\quad} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A_{ef} = \frac{109.14}{\quad} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = \frac{261.90}{\quad} \text{ MPa}$$

Siendo:

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

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

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

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

α : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\alpha_y : \underline{0.90}$$

$$\alpha_z : \underline{0.89}$$

$$\alpha_T : \underline{0.77}$$

Siendo:

$$\alpha_y : \underline{0.71}$$

$$\alpha_z : \underline{0.67}$$

$$\alpha_T : \underline{0.85}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

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

α : Esbeltez reducida.

α

$$\alpha_y : \underline{0.58}$$

α

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

α

$$\alpha_T : \underline{0.72}$$

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

$$N_{cr,r} : \underline{5797.60 \text{ kN}}$$

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

$$N_{cr,r,y} : \underline{8873.32 \text{ kN}}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	N_c r,z :	<u>12297.91</u> kN
$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	N_c r,T :	<u>5797.60</u> kN

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \quad \underline{0.536} \quad \checkmark$$

$$\square : \quad \underline{0.759} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.554 m del nudo N68, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·VH6.

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

$$M_{Ed}^+ : \quad \underline{117.32} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.554 m del nudo N68, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·VH3+0.75·N(EI).

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

$$M_{Ed}^- : \underline{308.14 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

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

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

Donde:

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

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

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

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{522.62 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{b,Rd}^- : \underline{405.72 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico

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

correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

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

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

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

α_{M1} : 1.05

α_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

α_{LT}^+ : 0.91

α_{LT}^- : 0.71

Siendo:

α_{LT}^+ : 0.64

α_{LT}^- : 0.95

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

α_{LT} : 0.34

$\alpha \alpha_{LT}$: Esbeltez reducida.

$\alpha \alpha_{LT}^+$: 0.44

$\alpha \alpha_{LT}^-$: 0.83

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

M_{cr}^+ : 3103.74 kN·m

M_{cr}^- : 876.85 kN·m

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

Siendo:

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

$$M_{LTV}^+ : \quad \underline{943.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : \quad \underline{471.58} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{LTW}^+ : \quad \underline{2956.97} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW}^- : \quad \underline{739.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

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

$$W_{el,y} : \quad \underline{1928.00} \text{ cm}^3$$

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

$$I_z : \quad \underline{2142.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \quad \underline{89.30} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

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

G : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_c^+ : \quad \underline{1.900} \text{ m}$$

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

$$L_c^- : \quad \underline{3.800} \text{ m}$$

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

$$C_1 : \quad \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al

$$i_{f,z}^+ : \quad \underline{5.17} \text{ cm}$$

eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida. $i_{f,z}^- :$ 5.17 cm

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \quad \underline{0.040} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.153 m del nudo N68, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2$.

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

$$M_{Ed}^+ : \quad \underline{5.03} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.153 m del nudo N68, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^- : \quad \underline{4.72} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \quad \underline{126.22} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.	Clase :	<u>1</u>
$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.	$W_{pl,z}$:	<u>481.91</u> cm ³
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} :	<u>261.90</u> MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u> MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} :	<u>1.05</u>

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \quad \underline{0.197} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.554 m del nudo N68, para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(R)2$.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	V_{Ed} :	<u>151.60</u> kN
--	------------------------------	------------------

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

$$V_{c,Rd} : \quad \underline{771.18} \quad \text{kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \quad \underline{51.00} \quad \text{cm}^2$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \quad \underline{500.00} \quad \text{Mm}$$

t_w : Espesor del alma.

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\alpha_{M0} : \quad \underline{1.05}$$

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

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

$$45.88 \quad \square \quad 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

α_w : Esbeltez del alma.

$$\alpha_w : \quad \underline{45.88}$$

$$\lambda_{\text{máx}}: \text{Esbeltez máxima.} \quad \lambda_{\text{máx}} : \underline{64.71}$$

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

Siendo:

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.552 m del nudo N68, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$.

$$V_{\text{Ed}}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{\text{Ed}} : \underline{1.80} \text{ kN}$$

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

$$V_{\text{c,Rd}} : \underline{1032.23} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. A_v : 68.26 cm²

Siendo:

A : Área de la sección bruta. A : 116.00 cm²

d : Altura del alma. d : 468.00 Mm

t_w : Espesor del alma. t_w : 10.20 Mm

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 275.00 MPa

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

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

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

164.60 kN \square 754.71 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{164.60} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{1509.42} \text{ kN}$$

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

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

$$1.80 \text{ kN} \square 758.05 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{1.80} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{1516.10} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \quad \underline{0.614} \quad \checkmark$$

$$\square : \quad \underline{0.856} \quad \checkmark$$

$$\square : \quad \underline{0.843} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.554 m del nudo N68, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(EI)$.

Donde:

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

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \quad \underline{172.47} \quad \text{kN}$$

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

$$\mathbf{M_{y,Ed}} : \quad \underline{308.14} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{z,Ed}} : \quad \underline{1.88} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{Clase} : \quad \underline{1}$$

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

$$\mathbf{N_{pl,Rd}} : \quad \underline{3038.10} \quad \text{kN}$$

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

$$\mathbf{M_{pl,Rd,y}} : \quad \underline{574.62} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{pl,Rd,z}} : \quad \underline{88.00} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

A: Área de la sección bruta.

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

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

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

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

$$k_y : \underline{1.03}$$

$$k_z : \underline{1.03}$$

$$k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

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

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

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

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

η_y, η_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\eta_y : \underline{0.89}$$

$$\eta_z : \underline{0.88}$$

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

$$\eta_{LT} : \underline{0.71}$$

$\eta_{\eta_y}, \eta_{\eta_z}$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\eta_{\eta_y} : \underline{0.60}$$

$$\eta_{\eta_z} : \underline{0.51}$$

η_y, η_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\eta_y : \underline{0.60}$$

$$\eta_z : \underline{0.60}$$

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(R)2$.

$$164.60 \text{ kN} \quad \square \quad 752.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \quad \underline{164.60} \quad \text{kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \quad \underline{1505.21} \quad \text{kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\square : \quad \underline{0.028} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.552 m del nudo N68, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} : \underline{8.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{55.81} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.554 m del nudo N68, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{75.71} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{770.26} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{771.18} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.45} \text{ MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{55.81} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\tau : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.552 m del nudo N68, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \quad \underline{1.03} \quad \text{kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \quad \underline{0.05} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : \quad \underline{1029.56} \quad \text{kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \quad \underline{1032.23} \quad \text{kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \quad \underline{0.98} \quad \text{MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \quad \underline{55.81} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

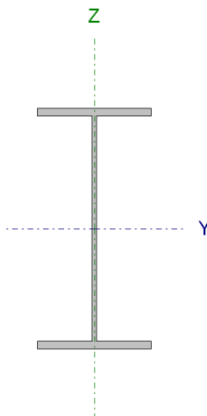
$$f_y : \quad \underline{275.00} \quad \text{MPa}$$

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

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

• Perfil simple IPE 360:

Perfil: IPE 360						
Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N103	N72	2.031	72.70	16270.00	1043.00	37.30
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
b	0.94	1.65	0.94	1.87		
L _K	1.900	3.351	1.900	3.800		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						



Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	λ	I _w	N _t	N _c	M _Y	M _Z	V _Z	V _Y	M _Y V _Z	M _Z V _Y	NM _Y M _Z	NM _Y M _Z V _Y V _Z	M _t	M _t V _Z	M _t V _Y	
N103/N72	λ < 2.0 Cumple	I _w ≤ I _{w,max} Cumple	x: 2.031 m h = 1.0	x: 0 m h = 2.1	x: 0 m h = 49.1	x: 0 m h = 1.6	x: 0 m h = 13.7	h = 0.1	h < 0.1	h < 0.1	x: 0 m h = 50.4	h < 0.1	h = 0.9	x: 0 m h = 7.4	h < 0.1	CUMPLE h = 50.4

Notación:

- λ: Limitación de esbeltez
- I_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
- N_t: Resistencia a tracción
- N_c: Resistencia a compresión
- M_Y: Resistencia a flexión eje Y
- M_Z: Resistencia a flexión eje Z
- V_Z: Resistencia a corte Z
- V_Y: Resistencia a corte Y
- M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
- M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
- NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
- NM_YM_ZV_YV_Z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
- M_t: Resistencia a torsión
- M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
- M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
- x: Distancia al origen de la barra
- h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

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

La esbeltez reducida λ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\lambda : \quad \underline{0.78} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

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

$$\text{A}_{ef} : \quad \underline{70.26} \quad \text{cm}^2$$

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

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

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\text{N}_{cr} : \quad \underline{3161.22} \quad \text{kN}$$

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

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

$$\text{N}_{cr,y} : \quad \underline{30037.34} \quad \text{kN}$$

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

$$\text{N}_{cr,z} : \quad \underline{5988.20} \quad \text{kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\text{N}_{cr,T} : \quad \underline{3161.22} \quad \text{kN}$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y :	<u>16270.00</u>	cm ⁴
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z :	<u>1043.00</u>	cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t :	<u>37.30</u>	cm ⁴
I_w : Constante de alabeo de la sección.	I_w :	<u>314000.00</u>	cm ⁶
E : Módulo de elasticidad.	E :	<u>210000</u>	MPa
G : Módulo de elasticidad transversal.	G :	<u>81000</u>	MPa
L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	L_{ky} :	<u>3.351</u>	M
L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} :	<u>1.900</u>	M
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} :	<u>3.800</u>	M
i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_0 :	<u>15.43</u>	Cm

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y :	<u>14.96</u>	Cm
	i_z :	<u>3.79</u>	Cm
y_0, z_0 :	y_0 :	<u>0.00</u>	Mm

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

z_0 : 0.00 Mm

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

Se debe satisfacer:

41.83 ≤ 255.09 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w :	<u>334.60</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w :	<u>8.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w :	<u>26.77</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	<u>21.59</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k :	<u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E :	<u>210000</u> MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} :	<u>275.00</u> MPa

Siendo:

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.010} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N72, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

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

$$N_{t,Ed} : \quad \underline{19.28} \quad \text{kN}$$

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

$$N_{t,Rd} : \quad \underline{1904.05} \quad \text{kN}$$

Donde:

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

$$A : \quad \underline{72.70} \quad \text{cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$g_{M0} : \quad \underline{1.05}$$

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.016} \quad \checkmark$$

$$h : \quad \underline{0.021} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$N_{c,Ed} : \quad \underline{28.98} \quad \text{kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : \quad \underline{1840.02} \quad \text{kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A_{ef} : \quad \underline{70.26} \quad \text{cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u> MPa
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{1353.58} \text{ kN}$$

Donde:

A_{ef} : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.	A_{ef} :	<u>70.26</u> cm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} :	<u>261.90</u> MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u> MPa
g_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	g_{M1} :	<u>1.05</u>

c : Coeficiente de reducción por pandeo.

c_y :	<u>0.99</u>
c_z :	<u>0.85</u>
c_T :	<u>0.74</u>

Siendo:

f_y :	<u>0.54</u>
f_z :	<u>0.72</u>
f_T :	<u>0.90</u>

a : Coeficiente de imperfección elástica.	a_y :	<u>0.21</u>
	a_z :	<u>0.34</u>
	a_T :	<u>0.34</u>

λ : Esbeltez reducida.

$$\begin{aligned} \lambda_y &: & 0.25 \\ \lambda_z &: & 0.57 \\ \lambda_T &: & 0.78 \end{aligned}$$

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

$$N_{cr} : \underline{3161.22 \text{ kN}}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{30037.34 \text{ kN}}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{5988.20 \text{ kN}}$$

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

$$N_{cr,T} : \underline{3161.22 \text{ kN}}$$

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

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{0.320} \quad \checkmark$$

$$h : \underline{0.491} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·VH4.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{40.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones

1.35·PP+1.05·Q+1.5·VH1+0.75·N(R)1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{85.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \underline{266.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{235.96 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{b,Rd}^- : \underline{173.99 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Donde:

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

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00 \text{ cm}^3}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

c_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$c_{LT}^+ : \underline{0.88}$$

$$c_{LT}^- : \underline{0.65}$$

Siendo:

$$f_{LT}^+ : \underline{0.68}$$

$$f_{LT}^- : \underline{1.04}$$

a_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_{LT} : \underline{0.34}$$

λ_{LT} : Esbeltez reducida.

$$\lambda_{LT}^+ : \underline{0.50}$$

$$\lambda_{LT}^- : \underline{0.91}$$

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

$$M_{cr}^+ : \underline{1120.15 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

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

$$M_{cr}^- : \underline{\underline{335.18 \text{ kN}\cdot\text{m}}}$$

Siendo:

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

$$M_{LTV}^+ : \underline{\underline{425.35 \text{ kN}\cdot\text{m}}}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{\underline{212.67 \text{ kN}\cdot\text{m}}}$$

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

$$M_{LTW}^+ : \underline{\underline{1036.25 \text{ kN}\cdot\text{m}}}$$

$$M_{LTW}^- : \underline{\underline{259.06 \text{ kN}\cdot\text{m}}}$$

Siendo:

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

$$W_{el,y} : \underline{\underline{903.89 \text{ cm}^3}}$$

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

$$I_z : \underline{\underline{1043.00 \text{ cm}^4}}$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{\underline{37.30 \text{ cm}^4}}$$

E : Módulo de elasticidad.

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

G : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_c^+ : \underline{\underline{1.900 \text{ M}}}$$

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

$$L_c^- : \underline{\underline{3.800 \text{ M}}}$$

C_1 : Factor que depende de las

$$C_1 : \underline{\underline{1.00}}$$

condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$i_{f,z}^+$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.	$i_{f,z}^+ :$	<u>4.47</u>	Cm
	$i_{f,z}^- :$	<u>4.47</u>	Cm

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.016} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1$.

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

$$M_{Ed}^+ : \quad \underline{0.57} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

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

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

$$M_{c,Rd} : \quad \underline{50.02} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.	Clase :	<u>1</u>
W_{pl,z}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.	W_{pl,z} :	<u>191.00</u> cm ³
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} :	<u>261.90</u> MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u> MPa
g_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.137} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·VH3+0.75·N(R)1.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	V_{Ed} :	<u>59.85</u> kN
---	-------------------------	-----------------

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

$$V_{c,Rd} : \quad \underline{435.49} \quad \text{kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \quad \underline{28.80} \quad \text{cm}^2$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \quad \underline{360.00} \quad \text{Mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \quad \underline{8.00} \quad \text{Mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$g_{M0} : \quad \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma:

(CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

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

$$41.83 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \quad \underline{41.83}$$

$I_{\text{máx}}$: Esbeltez máxima.	$I_{\text{máx}}$:	<u>64.71</u>
e : Factor de reducción.	e :	<u>0.92</u>

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.	f_{ref} :	<u>235.00</u>	MPa
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u>	MPa

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	V_{Ed} :	<u>0.45</u>	kN
--	-------------------	-------------	----

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

$$V_{\text{c,Rd}} : \quad \underline{694.54} \quad \text{kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.	A_v :	<u>45.93</u>	cm ²
--------------------------------------	---------	--------------	-----------------

Siendo:

A : Área de la sección bruta.	A :	<u>72.70</u>	cm ²
d : Altura del alma.	d :	<u>334.60</u>	mm
t_w : Espesor del alma.	t_w :	<u>8.00</u>	mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	MPa
---	-------------------------	---------------	-----

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u>	MPa
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>	

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

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

59.85 kN < 217.74 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(R)1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	V_{Ed} :	<u>59.85</u>	kN
--	-------------------------	--------------	----

V_{c,Rd} : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	V_{c,Rd} :	<u>435.49</u>	kN
--	---------------------------	---------------	----

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

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

0.45 kN \leq 347.27 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

V_{Ed} : 0.45 kN

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

$V_{c,Rd}$: 694.54 kN

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

Se debe satisfacer:

h : 0.332 ✓

h : 0.503 ✓

h : 0.504 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N103, para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH1 + 0.75 \cdot N(R)1.$$

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \frac{21.39}{\quad} \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Ed} : \frac{85.44}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \frac{0.02}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\text{Clase} : \frac{1}{\quad}$$

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

$$N_{pl,Rd} : \frac{1904.05}{\quad} \text{ kN}$$

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

$$M_{pl,Rd,y} : \frac{266.88}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \frac{50.02}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

A : Área de la sección bruta.

$$A : \frac{72.70}{\quad} \text{ cm}^2$$

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

$$W_{pl,y} : \frac{1019.00}{\quad} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \frac{191.00}{\quad} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \frac{261.90}{\quad} \text{ MPa}$$

Siendo:

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

$$f_y : \frac{275.00}{\quad} \text{ MPa}$$

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

$$g_{M1} : \frac{1.05}{\quad}$$

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

$$k_y : \frac{1.00}{\quad}$$

	$k_z :$	<u>1.01</u>
	$k_{y,LT} :$	<u>1.00</u>
$C_{m,y}, C_{m,z}, C_{m,LT}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.	$C_{m,y} :$	<u>1.00</u>
	$C_{m,z} :$	<u>1.00</u>
	$C_{m,LT} :$	<u>1.00</u>
c_y, c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$c_y :$	<u>0.99</u>
	$c_z :$	<u>0.85</u>
c_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.	$c_{LT} :$	<u>0.65</u>
	λ_y, λ_z : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	$\lambda_y :$
a_y, a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	$\lambda_z :$	<u>0.58</u>
	$a_y :$	<u>0.60</u>
	$a_z :$	<u>0.60</u>

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(R)1$.

$$59.85 \text{ kN} \quad \text{£} \quad 217.29 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \quad \underline{59.85} \quad \text{kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \quad \underline{434.57} \quad \text{kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

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

$$M_{T,Ed} : \quad \underline{0.04} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} : \quad \underline{4.44} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \quad \underline{29.37} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

g_{m0} : Coeficiente
parcial de
seguridad del
material.

$$g_{m0} : \underline{1.05}$$

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

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{0.074} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo
pésimos se producen en el nudo N103,
para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{32.13} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{434.57} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{435.49} \text{ kN}$$

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.	$t_{T,Ed}$:	<u>0.79</u>	MPa
--	--------------	-------------	-----

Siendo:

 W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T :	<u>29.37</u>	cm ³
---------	--------------	-----------------

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} :	<u>261.90</u>	MPa
------------	---------------	-----

Siendo:

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

f_y :	<u>275.00</u>	MPa
---------	---------------	-----

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

g_{M0} :	<u>1.05</u>	
------------	-------------	--

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

Se debe satisfacer:

$h <$	<u>0.001</u>	✓
-------	--------------	---

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

V_{Ed} :	<u>0.28</u>	kN
------------	-------------	----

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

$M_{T,Ed}$:	<u>0.02</u>	kN·m
--------------	-------------	------

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

$$V_{pl,T,Rd} : \quad \underline{693.08} \quad \text{kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \quad \underline{694.54} \quad \text{kN}$$

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

$$t_{T,Ed} : \quad \underline{0.79} \quad \text{MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \quad \underline{29.37} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$g_{M0} : \quad \underline{1.05}$$

3.5.5.7.2. Vigas

En el caso de las vigas, también se ha escogido un perfil tipo IPE. Tras el cálculo se obtiene que el perfil óptimo es un **IPE 270**.

3.5.5.7.3. Pilares

Para los pilares el tipo de perfil seleccionado es un HEB, ya que de esta manera se minimiza el tamaño del perfil y es más adecuado para estos soportes.

Los pilares óptimos obtenidos para las diferentes zonas de la estructura son los siguientes: HE 200 B, HE 280 B y **HE 300 B**.

Por lo tanto, a continuación se muestran las comprobaciones para el perfil HE 300 B, ya que es el más restrictivo.

• **Pilar HE 300B:**

Perfil: IPE 360 Material: Acero (S275)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N103	N72	2.031	72.70	16270.00	1043.00	37.30
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
b		0.94	1.65	0.94	1.87	
L _K		1.900	3.351	1.900	3.800	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ	I _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N103/N72	λ < 2.0 Cumple	I _w £ I _{w,máx} Cumple	x: 2.031 m h = 1.0	x: 0 m h = 2.1	x: 0 m h = 49.1	x: 0 m h = 1.6	x: 0 m h = 13.7	h = 0.1	h < 0.1	h < 0.1	x: 0 m h = 50.4	h < 0.1	h = 0.9	x: 0 m h = 7.4	h < 0.1	CUMPLE h = 50.4

Notación:

- λ: Limitación de esbeltez
- I_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
- N_t: Resistencia a tracción
- N_c: Resistencia a compresión
- M_y: Resistencia a flexión eje Y
- M_z: Resistencia a flexión eje Z
- V_z: Resistencia a corte Z
- V_y: Resistencia a corte Y
- M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
- M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
- NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
- NM_yM_zV_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
- M_t: Resistencia a torsión
- M_tV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
- M_tV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
- x: Distancia al origen de la barra
- h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

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

La esbeltez reducida λ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

λ: 0.78 ✓

Donde:

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

Clase: 4

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

A_{ef}: 70.26 cm²

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

f_y: 275.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr}: 3161.22 kN

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

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

N_{cr,y}: 30037.34 kN

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

N_{cr,z}: 5988.20 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T}: 3161.22 kN

Donde:

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

I_y: 16270.00 cm⁴

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

I_z: 1043.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t: 37.30 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w: 314000.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E: 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G: 81000 MPa

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

L_{ky}: 3.351 m

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} :	<u>1.900</u>	m
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} :	<u>3.800</u>	m
i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_0 :	<u>15.43</u>	cm

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	i_y :	<u>14.96</u>	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.	i_z :	<u>3.79</u>	cm
	y_0 :	<u>0.00</u>	mm
	z_0 :	<u>0.00</u>	mm

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

Se debe satisfacer:

$$41.83 \leq 255.09 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w :	<u>334.60</u>	mm
t_w : Espesor del alma.	t_w :	<u>8.00</u>	mm
A_w : Área del alma.	A_w :	<u>26.77</u>	cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$:	<u>21.59</u>	cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k :	<u>0.30</u>	
E : Módulo de elasticidad.	E :	<u>210000</u>	MPa

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N72, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{19.28} \text{ kN}$$

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

$$N_{t,Rd} : \underline{1904.05} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

g_{m0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$g_{m0} : \underline{1.05}$$

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.016} \quad \checkmark$$

$$h : \quad \underline{0.021} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$N_{c,Ed} : \quad \underline{28.98} \quad \text{kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : \quad \underline{1840.02} \quad \text{kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A_{ef} : \quad \underline{70.26} \quad \text{cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$g_{M0} : \quad \underline{1.05}$$

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{\underline{1353.58}} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A_{ef} : \underline{\underline{70.26}} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

c : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$c_y : \underline{\underline{0.99}}$$

$$c_z : \underline{\underline{0.85}}$$

$$c_T : \underline{\underline{0.74}}$$

Siendo:

$$f_y : \underline{\underline{0.54}}$$

$$f_z : \underline{\underline{0.72}}$$

$$f_T : \underline{\underline{0.90}}$$

a : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{\underline{0.21}}$$

$$a_z : \underline{\underline{0.34}}$$

$$a_T : \underline{\underline{0.34}}$$

λ : Esbeltez reducida.

$$\lambda_{ly} : \underline{\underline{0.25}}$$

$$\lambda_{lz} : \underline{\underline{0.57}}$$

$$\lambda_{lT} : \underline{\underline{0.78}}$$

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

$$N_{cr} : \underline{\underline{3161.22}} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{\underline{30037.34}} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{5988.20} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} : \underline{3161.22} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{0.320} \checkmark$$

$$h : \underline{0.491} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·VH4.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{40.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·VH1+0.75·N(R)1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{85.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \underline{266.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de

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

desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

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

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{235.96} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{b,Rd}^- : \underline{173.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

c_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$c_{LT}^+ : \underline{0.88}$$

Siendo:	c_{LT}^- :	<u>0.65</u>
	f_{LT}^+ :	<u>0.68</u>
	f_{LT}^- :	<u>1.04</u>
a_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.	a_{LT} :	<u>0.34</u>
λ_{LT} : Esbeltez reducida.	λ_{LT}^+ :	<u>0.50</u>
	λ_{LT}^- :	<u>0.91</u>
M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.	M_{cr}^+ :	<u>1120.15</u> kN·m
	M_{cr}^- :	<u>335.18</u> kN·m

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

Siendo:

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

$$M_{LTV}^+ : \underline{425.35} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTV}^- : \underline{212.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{LTW}^+ : \underline{1036.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{LTW}^- : \underline{259.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

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

$$W_{el,y} : \underline{903.89} \text{ cm}^3$$

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

$$I_z : \underline{1043.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t :	<u>37.30</u>	cm ⁴
E : Módulo de elasticidad.	E :	<u>210000</u>	MPa
G : Módulo de elasticidad transversal.	G :	<u>81000</u>	MPa
L_c⁺ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.	L_c⁺ :	<u>1.900</u>	m
L_c⁻ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.	L_c⁻ :	<u>3.800</u>	m
C₁ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.	C₁ :	<u>1.00</u>	
i_{f,z}⁺ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.	i_{f,z}⁺ :	<u>4.47</u>	cm
	i_{f,z}⁻ :	<u>4.47</u>	cm

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.016} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1$.

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

$$\mathbf{M_{Ed}^+} : \quad \underline{0.57} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

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

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

$$M_{c,Rd} : \quad \underline{50.02} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \quad \underline{191.00} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

g_{m0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$g_{m0} : \quad \underline{1.05}$$

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.137} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N103, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(R)1$.

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

$$V_{Ed} : \quad \underline{59.85} \quad \text{kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{\underline{435.49}} \text{ kN}$$

Donde:

$$A_v: \text{Área transversal a cortante.} \quad A_v : \underline{\underline{28.80}} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$$h: \text{Canto de la sección.} \quad h : \underline{\underline{360.00}} \text{ mm}$$

$$t_w: \text{Espesor del alma.} \quad t_w : \underline{\underline{8.00}} \text{ mm}$$

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

Siendo:

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

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

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

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

$$41.83 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$$I_w: \text{Esbeltez del alma.} \quad I_w : \underline{\underline{41.83}}$$

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

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

Siendo:

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

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

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

Se debe satisfacer:

$h : \underline{0.001} \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed} : \underline{0.45} \text{ kN}$

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

$V_{c,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante. $A_v : \underline{45.93} \text{ cm}^2$

Siendo:

A : Área de la sección bruta. $A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$

d : Altura del alma. $d : \underline{334.60} \text{ mm}$

t_w : Espesor del alma. $t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$

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

Siendo:

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

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material. $g_{Mo} : \underline{1.05}$

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

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

59.85 kN \leq **217.74 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(R)1$.

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

V_{Ed} : 59.85 kN

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

$V_{c,Rd}$: 435.49 kN

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

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

0.45 kN \leq **347.27 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

V_{Ed} : 0.45 kN

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

$V_{c,Rd}$: 694.54 kN

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.332} \quad \checkmark$$

$$h : \quad \underline{0.503} \quad \checkmark$$

$$h : \quad \underline{0.504} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N103, para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH1 + 0.75 \cdot N(R)1$.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \quad \underline{21.39} \quad \text{kN}$$

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

$$M_{y,Ed} : \quad \underline{85.44} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \quad \underline{0.02} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

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

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

$$N_{pl,Rd} : \quad \underline{1904.05} \quad \text{kN}$$

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

$$M_{pl,Rd,y} : \quad \underline{266.88} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \quad \underline{50.02} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

A: Área de la sección bruta.

$$A : \quad \underline{72.70} \quad \text{cm}^2$$

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

$$W_{pl,y} : \quad \underline{1019.00} \quad \text{cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \quad \underline{191.00} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z : \underline{1.01}$$

$$k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

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

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

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

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

c_y, c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$c_y : \underline{0.99}$$

$$c_z : \underline{0.85}$$

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

$$c_{LT} : \underline{0.65}$$

λ_y, λ_z : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\lambda_y : \underline{0.26}$$

$$\lambda_z : \underline{0.58}$$

a_y, a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$a_y : \underline{0.60}$$

$$a_z : \underline{0.60}$$

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(R)1$.

$$59.85 \text{ kN} \quad \text{€} \quad 217.29 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \quad \underline{59.85} \quad \text{kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \quad \underline{434.57} \quad \text{kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

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

$$M_{T,Ed} : \quad \underline{0.04} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} : \quad \underline{4.44} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \quad \underline{29.37} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{0.074} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N103, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{32.13} \quad \text{kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.02} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{434.57} \quad \text{kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{435.49} \quad \text{kN}$$

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

$$t_{T,Ed} : \underline{0.79} \quad \text{MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{29.37} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u>	MPa
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

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

Se debe satisfacer:

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	V_{Ed} :	<u>0.28</u>	kN
---	------------	-------------	----

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.	$M_{T,Ed}$:	<u>0.02</u>	kN·m
--	--------------	-------------	------

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

$V_{pl,T,Rd}$:	<u>693.08</u>	kN
-----------------	---------------	----

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$V_{pl,Rd}$:	<u>694.54</u>	kN
--	---------------	---------------	----

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.	$t_{T,Ed}$:	<u>0.79</u>	MPa
--	--------------	-------------	-----

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.	W_T :	<u>29.37</u>	cm ³
--	---------	--------------	-----------------

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	MPa
--	------------	---------------	-----

Siendo:

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

f_y : 275.00 MPa

g_{m0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

g_{m0} : 1.05

3.5.5.7.4. Pilarillos

En cuanto a los pilarillos, tanto de la fachada frontal como de la trasera, el perfil obtenido es un **HE 200 B** para todos ellos.

- Pilarillo HE 200B:

Perfil: HE 200 B Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_z^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N81	N89	6.335	78.10	5696.00	2003.00	59.28
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
Pandeo		Pandeo lateral				
Plano XY		Plano XZ		Ala sup.	Ala inf.	
b	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	
L_K	3.168	3.168	0.000	0.000		
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C_1	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_m : Coeficiente de momentos C_1 : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	λ	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_y V_z$	$M_z V_y$	
N81/N89	$\lambda < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w, \text{máx}}$ Cumple	x: 6.182 m h = 2.1	x: 0 m h = 12.4	x: 6.182 m h = 16.4	x: 0 m h = 72.1	h = 2.9	x: 0 m h = 4.3	h < 0.1	h < 0.1	x: 0 m h = 82.4	h < 0.1	h = 0.5	h = 0.7	x: 0 m h = 2.6	CUMPLE h = 82.4

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	λ	l_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
<p>Notación:</p> <p>λ: Limitación de esbeltez</p> <p>l_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida</p> <p>N_t: Resistencia a tracción</p> <p>N_c: Resistencia a compresión</p> <p>M_y: Resistencia a flexión eje Y</p> <p>M_z: Resistencia a flexión eje Z</p> <p>V_z: Resistencia a corte Z</p> <p>V_y: Resistencia a corte Y</p> <p>$M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados</p> <p>$M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados</p> <p>$N M_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados</p> <p>$N M_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados</p> <p>M_t: Resistencia a torsión</p> <p>$M_t V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados</p> <p>$M_t V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados</p> <p>x: Distancia al origen de la barra</p> <p>h: Coeficiente de aprovechamiento (%)</p>																

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

La esbeltez reducida λ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\lambda : \underline{\underline{0.72}} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{\underline{78.10}} \quad \text{cm}^2$$

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

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

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{\underline{4137.77}} \quad \text{kN}$$

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

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

$$N_{cr,y} : \underline{\underline{11766.73}} \quad \text{kN}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z} :$ 4137.77 kN

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

Donde:

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

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

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

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

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

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

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. $L_{ky} :$ 3.168 m

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. $L_{kz} :$ 3.168 m

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión. $L_{kt} :$ 0.000 m

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

Siendo:

i_y, i_z : Radios de $i_y :$ 8.54 Cm

giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	$i_z :$	<u>5.06</u>	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.	$y_0 :$	<u>0.00</u>	Mm
	$z_0 :$	<u>0.00</u>	Mm

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

Se debe satisfacer:

18.89 ≤ 163.60 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.	$h_w :$	<u>170.00</u>	Mm
t_w : Espesor del alma.	$t_w :$	<u>9.00</u>	Mm
A_w : Área del alma.	$A_w :$	<u>15.30</u>	cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef} :$	<u>30.00</u>	cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	$k :$	<u>0.30</u>	
E : Módulo de elasticidad.	$E :$	<u>210000</u>	MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	$f_{yf} :$	<u>275.00</u>	MPa

Siendo:

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.021} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.182 m del nudo N81, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·VH6.

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

$$N_{t,Ed} : \quad \underline{42.23} \quad \text{kN}$$

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

$$N_{t,Rd} : \quad \underline{2045.48} \quad \text{kN}$$

Donde:

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

$$A : \quad \underline{78.10} \quad \text{cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

g_{MO}: Coeficiente
parcial de
seguridad del
material.

g_{MO} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

h : 0.088 ✓

h : 0.124 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N81, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH3 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

N_{c,Ed} : 179.96 kN

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

N_{c,Rd} : 2045.48 kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de

**Clas
e** : 1

desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$A : \frac{78.10}{\text{cm}^2}$$

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

Siendo:

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

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

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

$$g_{M0} : \frac{1.05}{\text{MPa}}$$

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

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

$$N_{b,Rd} : \frac{1456.35}{\text{kN}}$$

Donde:

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

$$A : \frac{78.10}{\text{cm}^2}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$g_{M1} : \frac{1.05}{\text{MPa}}$$

c: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$c_y : \frac{0.92}{\text{MPa}}$$

$$c_z : \frac{0.71}{\text{MPa}}$$

Siendo:

	f_y :	<u>0.63</u>
	f_z :	<u>0.89</u>
a : Coeficiente de imperfección elástica.	a_y :	<u>0.34</u>
	a_z :	<u>0.49</u>
λ : Esbeltez reducida.	λ_y :	<u>0.43</u>
	λ_z :	<u>0.72</u>
N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:	N_{cr} :	<u>4137.77</u> kN
N_{cr,y} : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.	N_{cr,y} :	<u>11766.73</u> kN
N_{cr,z} : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.	N_{cr,z} :	<u>4137.77</u> kN
N_{cr,T} : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.	N_{cr,T} :	<u>¥</u>

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.164} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.182 m del nudo N81, para la combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$M_{Ed}^+ : \quad \underline{27.57} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.182 m del nudo N81, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot VH4$.

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

$$M_{Ed}^- : \quad \underline{11.65} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : \quad \underline{168.27} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \quad \underline{642.50} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

g_{M0} :

1.05

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

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

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

Se debe satisfacer:

h : 0.721 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se
produce en el nudo N81, para la
combinación de acciones
 $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$.

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

M_{Ed}^+ : 49.40 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se
produce en el nudo N81, para la
combinación de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

M_{Ed}^- : 57.77 kN·m

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

$M_{c,Rd}$: 80.09 kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.	Clase :	<u>1</u>
$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.	$W_{pl,z}$:	<u>305.80</u> cm ³
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} :	<u>261.90</u> MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u> MPa
g_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

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

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	V_{Ed} :	<u>7.82</u> kN
--	------------------------------	----------------

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

$$V_{c,Rd} : \quad \underline{272.18} \quad \text{kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \quad \underline{18.00} \quad \text{cm}^2$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : \quad \underline{200.00} \quad \text{mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \quad \underline{9.00} \quad \text{Mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$g_{M0} : \quad \underline{1.05}$$

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

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

$$18.89 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \quad \underline{18.89}$$

$I_{\text{máx}}$: Esbeltez máxima. $I_{\text{máx}}$: 64.71

e : Factor de reducción. e : 0.92

Siendo:

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

f_y : Límite elástico.
(CTE DB SE-A,
Tabla 4.1) f_y : 275.00 MPa

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

Se debe satisfacer:

h : 0.043 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N81, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : 41.12 kN

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

$V_{\text{c,Rd}}$: 949.60 kN

Donde:

$$A_v: \text{Área transversal a cortante.} \quad A_v : \quad \underline{62.80} \quad \text{cm}^2$$

Siendo:

$$A: \text{Área de la sección bruta.} \quad A : \quad \underline{78.10} \quad \text{cm}^2$$

$$d: \text{Altura del alma.} \quad d : \quad \underline{170.00} \quad \text{mm}$$

$$t_w: \text{Espesor del alma.} \quad t_w : \quad \underline{9.00} \quad \text{mm}$$

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

Siendo:

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

$$g_{m0}: \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad g_{m0} : \quad \underline{1.05}$$

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

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

$$7.82 \text{ kN} \leq 136.09 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot VH1 + 0.75 \cdot N(EI)$.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \quad \underline{7.82} \quad \text{kN}$$

$$V_{c,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{c,Rd} : \quad \underline{272.18} \quad \text{kN}$$

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

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

$$41.12 \text{ kN} \leq 474.80 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{41.12} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{949.60} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{0.769} \quad \checkmark$$

$$h : \underline{0.508} \quad \checkmark$$

$$h : \quad \underline{0.824} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N81, para la combinación de acciones

$$1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2.$$

Donde:

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

$$\underline{N_{c,Ed} : \quad 91.68 \text{ kN}}$$

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

$$\underline{M_{y,Ed} : \quad 0.49 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{M_{z,Ed} : \quad 57.77 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

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

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

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

$$\underline{N_{pl,Rd} : \quad 2045.48 \text{ kN}}$$

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

$$\underline{M_{pl,Rd,y} : \quad 168.27 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{M_{pl,Rd,z} : \quad 80.09 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

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

A: Área de la sección bruta.

$$\underline{A : \quad 78.10 \text{ cm}^2}$$

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

$$\underline{W_{pl,y} : \quad 642.50 \text{ cm}^3}$$

$$\underline{W_{pl,z} : \quad 305.80 \text{ cm}^3}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\underline{g_{M1} : \quad 1.05}$$

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

	k_y :	<u>1.01</u>
	k_z :	<u>1.05</u>
$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.	$C_{m,y}$:	<u>1.00</u>
	$C_{m,z}$:	<u>1.00</u>
c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	c_y :	<u>0.92</u>
	c_z :	<u>0.71</u>
λ_y , λ_z : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	λ_y :	<u>0.43</u>
	λ_z :	<u>0.72</u>
a_y , a_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	a_y :	<u>0.60</u>
	a_z :	<u>0.60</u>

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

41.12 kN £ **474.18 kN** ✓

Donde:

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

$V_{Ed,y}$: 41.12 kN

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

$$V_{c,Rd,y} : \underline{948.35} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} : \underline{5.98} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{39.52} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

g_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

h : 0.007 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo
pésimos se producen para la combinación
de acciones
 $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

V_{Ed} : 1.83 kN

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

$M_{T,Ed}$: 0.02 kN·m

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

$V_{pl,T,Rd}$: 271.82 kN

Donde:

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

$V_{pl,Rd}$: 272.18 kN

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

$t_{T,Ed}$: 0.50 MPa

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.	W_T :	<u>39.52</u>	cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u>	MPa
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

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

Se debe satisfacer:

$$h : \quad \underline{0.026} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N81, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	V_{Ed} :	<u>24.76</u>	kN
---	------------------------------	--------------	----

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.	$M_{T,Ed}$:	<u>0.02</u>	kN·m
--	--------------------------------	-------------	------

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

$$V_{pl,T,Rd} : \quad \underline{948.35} \quad \text{kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$V_{pl,Rd}$:	<u>949.60</u>	kN
$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.	$t_{T,Ed}$:	<u>0.50</u>	MPa

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.	W_T :	<u>39.52</u>	cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	<u>275.00</u>	MPa
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

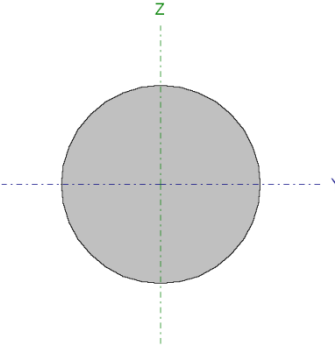
3.5.5.7.5. Arriostramientos

Para estos elementos de tipo tirantes, el perfil adecuado es un perfil redondo macizo. Los resultados muestran que son necesarios diferentes diámetros en función del tramo que están arriostrando. Se ha utilizado dicho perfil con los siguientes diámetros: R10, R12, R14 y R15.

A continuación se muestran las comprobaciones del perfil **R15** al tratarse del más solicitado.

- Arriostramiento R15

Perfil: R 15
Material: Acero (S275)

Perfil: R 15							
Material: Acero (S275)							
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N74	N101	6.947	1.77	0.25	0.25	0.50	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	b	0.00	0.00	0.00	0.00		
	L _K	0.000	0.000	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)												Estado		
	λ	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t		M _t V _z	M _t V _y
N74/N101	λ ≤ 4.0 Cumple	h = 79.7	N _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽¹⁾	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽²⁾	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽²⁾	V _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽³⁾	V _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0,00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE h = 79.7
Notación: λ: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

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

La esbeltez reducida λ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\lambda < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$\mathbf{A} : \underline{1.77} \text{ cm}^2$$

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

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

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\mathbf{N}_{cr} : \underline{\text{¥}}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\mathbf{h} : \underline{0.797} \quad \checkmark$$

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

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

$$\mathbf{N}_{t,Ed} : \underline{36.89} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{N}_{t,Rd} : \underline{46.28} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \frac{1.77}{\text{cm}^2}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

g_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$g_{Mo} : \frac{1.05}{\text{MPa}}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.5.5.8. Uniones

En primer lugar, se generan todas las uniones de las que debe disponer la estructura de manera automática.

Una vez generadas las uniones se procede a definir los parámetros generales que las definen.

- Tornillería no pretensada

Las uniones por lo general se resuelven mediante uniones atornilladas con tornillos sin pretensar de calidad 8.8, siendo la tensión de rotura del tornillo de 800 N/mm^2 y la tensión del límite elástico de 640 N/mm^2 .



Fig.41. Tornillería no pretensada.

- Tornillería pretensada

Este tipo de uniones necesitan, para un funcionamiento correcto, el empleo de tornillos de mayor resistencia, y cumplir con los siguientes requisitos:

a) **El Apriete Correcto:** El apriete se realiza mediante el giro de la tuerca o la cabeza con llaves dinamométricas o neumáticas, taradas convenientemente. Existen varios sistemas para lograr el apriete correcto y conseguir una tensión en el tornillo del orden de 80% de su límite elástico.

b) **La Rugosidad de las Superficies:** La rugosidad necesaria de las superficies en contacto a fin de obtener el coeficiente de rozamiento requerido.

Por lo tanto, se requiere una determinada preparación de la superficie a unir para mejorar la fricción entre los elementos. Tal y como se muestra en la figura, la categoría de preparación de la superficie considerada es la C, con un coeficiente de fricción de 0.3 (superficies limpiadas a cepillo metálico o con llama, con eliminación de partes oxidadas).



Fig.42. Tornillería pretensada.

- Rigidizadores

Los rigidizadores se introducen de forma manual en aquellas uniones que los requieran.

Se escoge la opción de rigidizadores con recortes para fomentar el ahorro de material y espacio en algunos casos concretos.



Fig.43. Rigidizadores.

- Placas de anclaje

En cuanto a los datos generales considerados para las placas de anclaje de los pilares, se utilizan los siguientes valores:

Tomillería no pretensada	Tomillería pretensada	Rigidizadores	Placa de anclaje
Relación máxima vuelo-espesor		<input type="text" value="20.00"/>	
Relación máxima ancho-espesor		<input type="text" value="30.00"/>	
Espesor máximo recomendable para placas		<input type="text" value="15.0"/> mm	
Espesor del mortero de nivelación		<input type="text" value="2.00"/> cm	
Ángulo en bisel para rigidizadores		<input type="text" value="45.00"/> Grados	
Relación máxima suma de lados-diámetro de pemos		<input type="text" value="50.00"/>	
Anclaje pemos-placa		<input type="text" value="Soldados con preparación de bordes"/>	

Fig.44. Parámetros generales placas de anclaje.

A continuación, se muestran desglosadas las características de las uniones más destacadas que componen la estructura junto con sus correspondientes comprobaciones.

3.5.5.8.1. Pilar central de pórticos hastiales

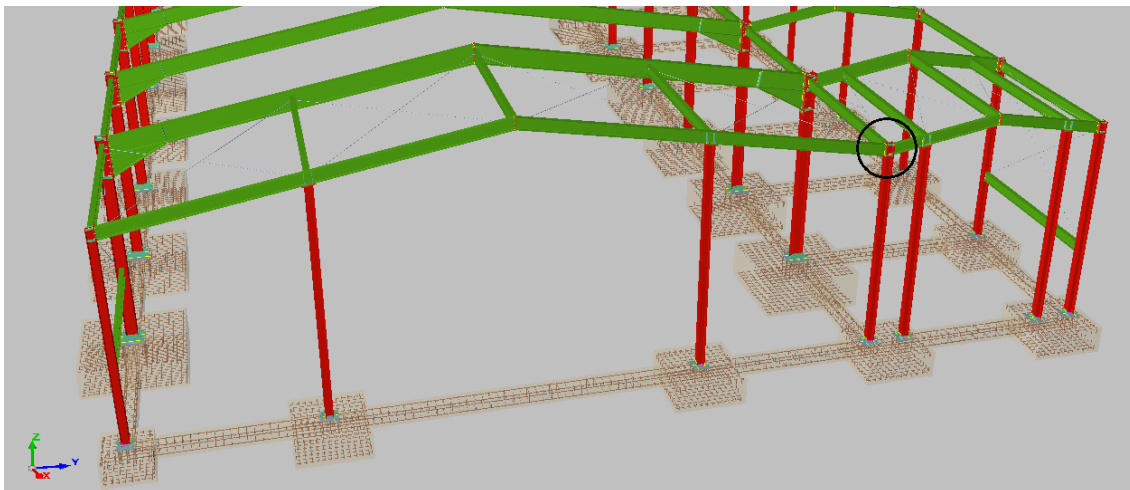


Fig.45. Ubicación de la unión.

A continuación se desglosa la unión generada tipo 31, que está ubicada en el pórtico hastial. En dicha unión confluyen 3 vigas en la cabeza del pilar central de la nave. Se especifica tanto la geometría como cada una de las comprobaciones realizadas para la unión.

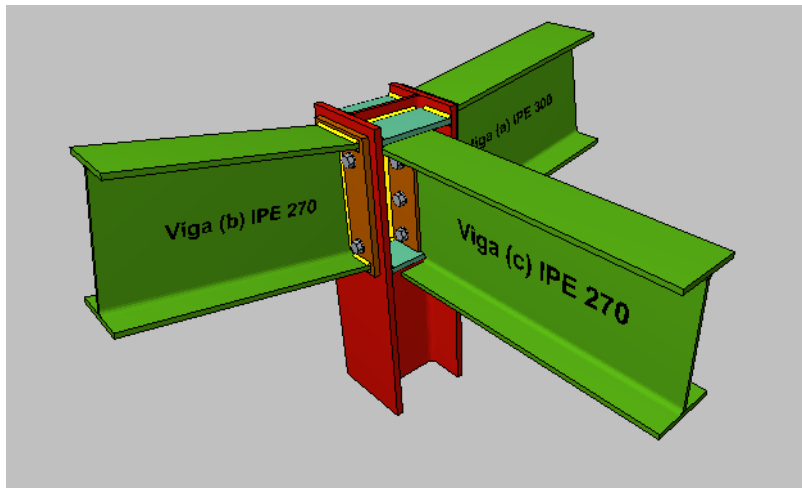
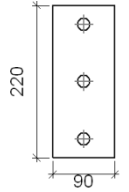
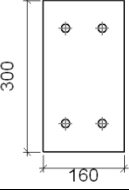
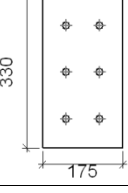


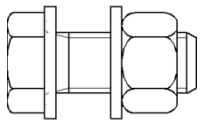
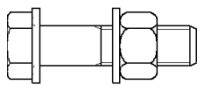
Fig.46. Unión 1 en 3D.

• Componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 200 B		200	200	15	9	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 270		270	135	10.2	6.6	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 300		300	150	10.7	7.1	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Rigidizador		170	95	11	-	-	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Chapa lateral: Viga (c) IPE 270		90	220	8	3	18	S275	275.0	410.0
Chapa frontal: Viga (b) IPE 270		160	300	14	4	18	S275	275.0	410.0
Chapa frontal: Viga (a) IPE 300		175	330	14	6	18	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_y (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M16x40-8.8 ISO 4032-M16-8 2 ISO 7089-16-200 HV		M16	40	8.8	640.0	800.0
ISO 4014-M16x65-8.8 ISO 4032-M16-8 2 ISO 7089-16-200 HV		M16	65	8.8	640.0	800.0

- Tipos de unión

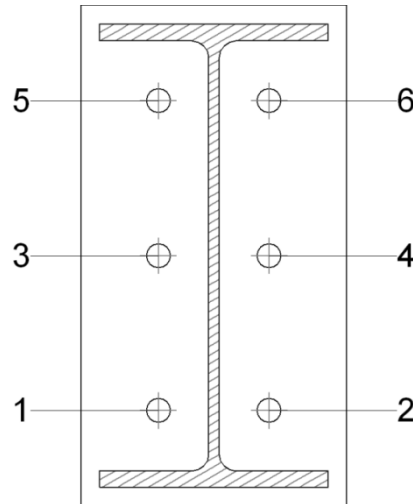
1) Viga (a) IPE 300 – Pilar HE 200 B

Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	T (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	5	150	10.7	80.03	
Soldadura del alma	En ángulo	4	261	7.1	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	5	150	10.7	80.03	

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	T (mm)	Ángulo (grados)
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Unión atornillada – Chapa frontal



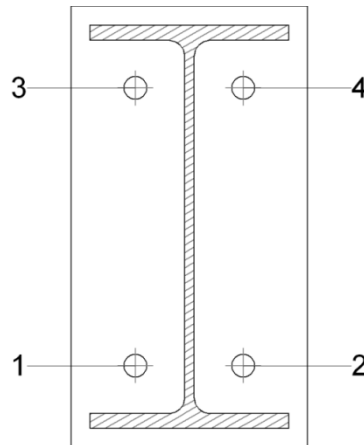
Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	102	32.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	102	32.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	102	32.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	102	32.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	102	32.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	102	32.0

2) Viga (b) IPE 270 – Pilar HE 200 B

Unión soldada

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	5	135	10.2	79.98
Soldadura del alma	En ángulo	3	233	6.6	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	5	135	10.2	79.98
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Unión atornillada – chapa frontal

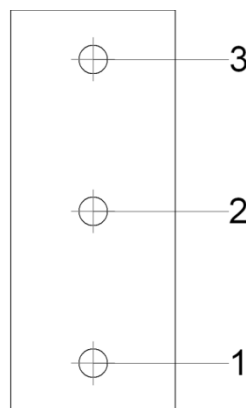


Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	44	--	73	188	32.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	44	--	73	188	32.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	44	--	73	188	32.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	44	--	73	188	32.0

--: La comprobación no procede.

3) Viga (c) IPE 270 – Pilar HE 200 B

Unión atornillada – chapa lateral



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	83	27.0
2	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	--	--	83	45.0
3	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	83	27.0

--: La comprobación no procede.

Unión soldada

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	L (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	220	8.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

4) Rigidizadores – Pilar HE 200 B

Unión soldada

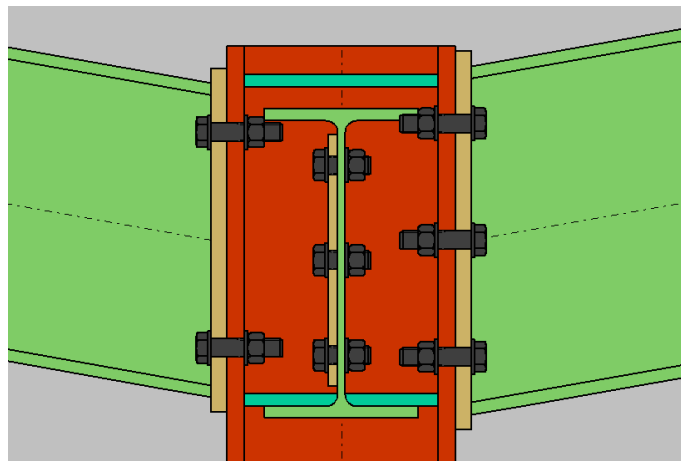


Fig.47. Rigidizadores de la unión.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	80	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	140	9.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	80	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	140	9.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	80	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	140	9.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	80	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	140	9.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

- Comprobaciones

1) Pilar HE 200 B

Comprobación de resistencia - Elementos

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltez	--	--	--	29.19	
	Cortante	kN	67.67	354.92	19.07	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	24.88	261.90	9.50	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	22.81	261.90	8.71	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	22.04	261.90	8.42	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	23.76	261.90	9.07	
Ala	Desgarro	N/mm ²	27.37	261.90	10.45	
	Cortante	N/mm ²	26.31	261.90	10.05	
Viga (b) IPE 270	Ala	Tracción por flexión	kN	43.16	180.86	23.86
		Tracción	kN	8.08	271.72	2.98
	Alma	Tracción	kN	26.99	160.34	16.83
Viga (a) IPE 300	Ala	Tracción por flexión	kN	24.48	180.86	13.54
		Tracción	kN	5.35	233.78	2.29
	Alma	Tracción	kN	13.79	142.41	9.68
Viga (c) IPE 270	Alma	Punzonamiento	kN	32.19	807.67	3.99
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	32.19	116.84	27.55

- Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$18.89 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

t_{wc} : Espesor del alma.

$$d_{wc} : \underline{170} \text{ Mm}$$

$$t_{wc} : \underline{9.0} \text{ Mm}$$

$$e : \underline{0.92}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

67.67 kN £ 354.92 kN ✓

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \underline{\quad 67.67 \quad} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \underline{\quad 354.92 \quad} \text{ kN}$$

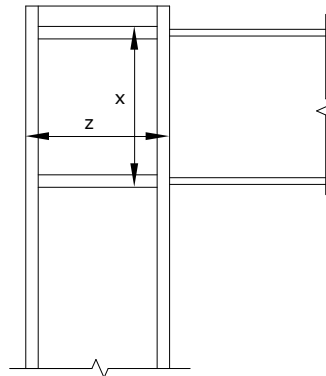
Donde:

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{\quad 261.90 \quad} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	1800	44.90	244.96	18.33
x	2608	67.67	354.92	19.07



- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

24.88 N/mm² £ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

$$s: \text{ Tensión normal} \quad s : \underline{\quad -24.77 \quad} \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\perp}: \text{ Esfuerzo de cálculo normal de la sección} \quad F_{\perp} : \underline{\quad -17.16 \quad} \text{ kN}$$

$$L_{\perp}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos normales} \quad L_{\perp} : \underline{\quad 63 \quad} \text{ mm}$$

t: Tensión tangencial	t :	<u>1.38</u> N/mm ²
F: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección	F :	<u>1.22</u> kN
L: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	L :	<u>80</u> mm
t: Espesor	t :	<u>11.0</u> mm
f_y: Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$22.81 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal	s :	<u>0.00</u> N/mm ²
F_⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección	F_⊥ :	<u>0.00</u> kN
L_⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales	L_⊥ :	<u>--</u> Mm
t: Tensión tangencial	t :	<u>-13.17</u> N/mm ²
F: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección	F :	<u>-20.28</u> kN
L: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	L :	<u>140</u> Mm
t: Espesor	t :	<u>11.0</u> Mm
f_y: Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$22.04 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

$$s: \text{ Tensión normal} \quad s : \quad \underline{-22.03} \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\perp}: \text{ Esfuerzo de cálculo normal de la sección} \quad F_{\perp} : \quad \underline{-15.27} \text{ kN}$$

$$L_{\perp}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos normales} \quad L_{\perp} : \quad \underline{63} \text{ Mm}$$

$$t: \text{ Tensión tangencial} \quad t : \quad \underline{-0.44} \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\parallel}: \text{ Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección} \quad F_{\parallel} : \quad \underline{-0.39} \text{ kN}$$

$$L_{\parallel}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales} \quad L_{\parallel} : \quad \underline{80} \text{ Mm}$$

$$t: \text{ Espesor} \quad t : \quad \underline{11.0} \text{ Mm}$$

$$f_y: \text{ Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \quad \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$g_{Mo}: \text{ Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.} \quad g_{Mo} : \quad \underline{1.05}$$

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$23.76 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

$$s: \text{ Tensión normal} \quad s : \quad \underline{-23.70} \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\perp}: \text{ Esfuerzo de cálculo normal de la sección} \quad F_{\perp} : \quad \underline{-16.42} \text{ kN}$$

$$L_{\perp}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos normales} \quad L_{\perp} : \quad \underline{63} \text{ mm}$$

$$t: \text{ Tensión tangencial} \quad t : \quad \underline{0.98} \text{ N/mm}^2$$

$F_{ }$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección	$F_{ }$:	<u>0.86</u> kN
$L_{ }$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	$L_{ }$:	<u>80</u> mm
t: Espesor	t :	<u>11.0</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

- Comprobaciones por unión con elemento

- Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$27.37 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal	s :	<u>27.35</u> N/mm ²
t: Tensión tangencial	t :	<u>0.57</u> N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$26.31 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal	s :	<u>26.21</u> N/mm ²
t: Tensión tangencial	t :	<u>1.35</u> N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 270'

- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$43.16 \text{ kN} \leq 180.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$$F_{T,Ed}: \text{ Fuerza de tracción solicitante} \quad F_{T,Ed} : \underline{43.16} \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd}: \text{ Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente} \quad F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : \underline{212.95} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : \underline{370.26} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{1.85} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{2.53} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\dot{a}F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos	$\dot{a}F_{t,Rd} : \underline{180.86}$ kN
t_f : Espesor de la chapa	$t_f : \underline{15.0}$ mm
m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela	$m : \underline{20}$ mm
n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$	$n : \underline{25}$ mm
$\dot{a}l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*	$\dot{a}l_{eff,1} : \underline{126}$ mm
$\dot{a}l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*	$\dot{a}l_{eff,2} : \underline{172}$ mm
f_y : Tensión de límite elástico.	$f_y : \underline{275.00}$ N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	$g_{M0} : \underline{1.05}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\dot{a}l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

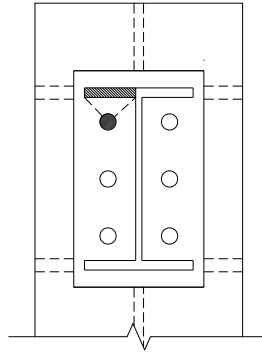
Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd} : Resistencia de cálculo.	$f_{yd} : \underline{261.90}$ N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	$f_y : \underline{275.00}$ N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	$g_{M0} : \underline{1.05}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1037	8.08	271.72	2.98
\dot{a}		8.08	271.72	2.98



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$26.99 \text{ kN} \leq 160.34 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \quad \underline{\quad 26.99 \quad} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \quad \underline{\quad 160.34 \quad} \text{ kN}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \quad \underline{\quad 612.00 \quad} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \quad \underline{\quad 261.90 \quad} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \quad \underline{\quad 275.00 \quad} \text{ N/mm}^2$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{M0} : \quad \underline{\quad 1.05 \quad}$$

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 300'

- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$24.48 \text{ kN} \leq 180.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante $F_{T,Ed} : 24.48 \text{ kN}$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente $F_{T,Rd} : 180.86 \text{ kN}$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$F_{T,3,Rd} : 180.86 \text{ kN}$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$F_{T,2,Rd} : 222.61 \text{ kN}$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$F_{T,1,Rd} : 370.26 \text{ kN}$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 2.

$F_{T,Rd} : 180.86 \text{ kN}$

Donde:

$M_{pl,1,Rd} : 1.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{pl,2,Rd} : 2.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$\sum F_{t,Rd} : 180.86 \text{ kN}$

t_f : Espesor de la chapa

$t_f : 15.0 \text{ Mm}$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$m : 20 \text{ Mm}$

n : Igual e_{min} pero $n \geq 1,25 \cdot m$

$n : 25 \text{ Mm}$

$\dot{a}l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\dot{a}l_{eff,1} : \underline{126} \text{ Mm}$$

$\dot{a}l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\dot{a}l_{eff,2} : \underline{187} \text{ Mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

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

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\dot{a}l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

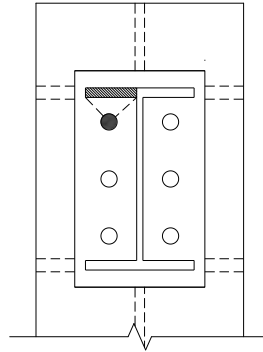
$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$f_{yd} \text{ : Resistencia de cálculo.} \quad f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_y \text{ : Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$g_{M0} \text{ : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.} \quad g_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	893	5.35	233.78	2.29
\dot{a}		5.35	233.78	2.29



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$13.79 \text{ kN} \leq 142.41 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \quad \underline{13.79} \quad \text{kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \quad \underline{142.41} \quad \text{kN}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \quad \underline{544.00} \quad \text{mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \quad \underline{261.90} \quad \text{N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \quad \underline{275.00} \quad \text{N/mm}^2$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{M0} : \quad \underline{1.05}$$

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (c) IPE 270'

- Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$32.19 \text{ kN} \leq 807.67 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo	N_{Ed} : <u>32.19</u> kN
N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$	N_{Rd} : <u>807.67</u> kN

Esfuerzo cortante

Donde:

A_v : Área sometida a cortante	A_v : <u>4104</u> mm ²
t : Espesor del elemento en la superficie de unión	t : <u>9.0</u> Mm
t_p : Espesor del elemento de unión	t_p : <u>8.0</u> Mm
h_p : Altura del elemento de unión	h_p : <u>220</u> Mm
f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.	f_u : <u>410.00</u> N/mm ²
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} : <u>1.25</u>

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

	32.19 kN ≤ 116.84 kN ✓
N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo	N_{Ed} : <u>32.19</u> kN
N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión	N_{Rd} : <u>116.84</u> kN

Donde:

t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>9.0</u> Mm
k_m : Coeficiente de interacción	k_m : <u>1.00</u>
	m : <u>1.51</u>
h_p : Altura del elemento de unión	h_p : <u>220</u> Mm
h_{iw} : Canto del alma entre radios de acuerdo	h_{iw} : <u>146</u> Mm
	b : <u>0.05</u>
t_p : Espesor del elemento de unión	t_p : <u>8.0</u> Mm

W_{pl} : Modulo plástico resistente	W_{pl} :	<u>2228</u> mm ³
I_{ch} : Longitud de la línea de charnela	I_{ch} :	<u>110</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.	g_{M5} :	<u>1.00</u>

Comprobación de resistencia – Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_\wedge (N/mm ²)	t_\wedge (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_\wedge (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	19.3	19.3	1.5	38.6	10.01	19.3	5.87	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	15.7	27.2	7.04	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	16.5	16.5	0.9	33.1	8.57	16.5	5.04	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	18.1	31.4	8.13	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	17.1	17.1	0.5	34.3	8.88	17.1	5.22	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	15.9	27.5	7.12	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	18.4	18.4	1.1	36.9	9.57	18.4	5.62	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	17.9	31.1	8.05	0.0	0.00	410.0	0.85

La comprobación de todos los cordones de soldadura se realiza de acuerdo a los criterios mostrados a continuación.

- Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1):

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.

- si $\alpha < 60^\circ$ ▶ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

- Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2):

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9. c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

Siendo

b_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

s^\perp : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$s_{||}$: tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

t^\perp : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$t_{||}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

2) Viga (b) IPE 270

Comprobación de resistencia – Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	43.16	177.58	24.30
Ala	Compresión	kN	22.57	165.26	13.65
	Tracción	kN	11.33	180.32	6.29
Alma	Tracción	kN	20.49	134.26	15.26

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$43.16 \text{ kN} \leq 177.58 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

 $F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{43.16} \text{ kN}$$

 $F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{177.58} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : \underline{177.58} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : \underline{322.54} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 2.

$$F_{T,Rd} : \underline{177.58} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.38} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{2.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{14.0} \text{ Mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{29} \text{ Mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{37} \text{ Mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{185} \text{ Mm}$$

$\Sigma l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma l_{eff,2} : \underline{199} \text{ Mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

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

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$22.57 \text{ kN} \leq 165.26 \text{ kN} \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{22.57} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{165.26} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área sometida a compresión	A :	<u>631</u>	mm ²
f'_y: Tensión de límite elástico reducida.	f'_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
f_y: Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
r: Factor de reducción	r :	<u>0.000</u>	
g_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

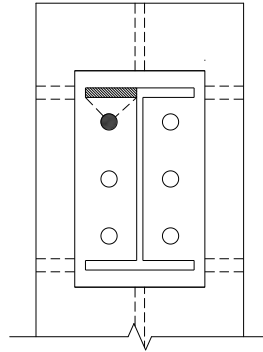
Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axial.

N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd}: Resistencia de cálculo.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	N/mm ²
f_y: Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
g_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	689	11.33	180.32	6.29
Å		11.33	180.32	6.29

- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$20.49 \text{ kN} \leq 134.26 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial. $N_{Ed} : \underline{20.49} \text{ kN}$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción. $N_{t,Rd} : \underline{134.26} \text{ kN}$

Donde:

A : Área sometida a tracción $A : \underline{513.00} \text{ mm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $g_{M0} : \underline{1.05}$

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_{\perp} (N/mm ²)	t_{\perp} (N/mm ²)	t_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	30.8	36.7	0.1	70.7	18.32	34.6	10.55	410.0	0.85
Soldadura del alma	38.1	38.1	10.1	78.2	20.26	38.3	11.68	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	27.9	33.3	0.1	64.0	16.59	33.2	10.12	410.0	0.85

Comprobación de resistencia – Tornillos

La comprobación de la resistencia de los tornillos se realiza de acuerdo a los términos mostrados a continuación.

- Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1):

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

- Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2):

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

Siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

Siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

a: es el menor de:

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

Siendo

t_p : espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m : menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

Siendo

$F_{v,Ed}$: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.

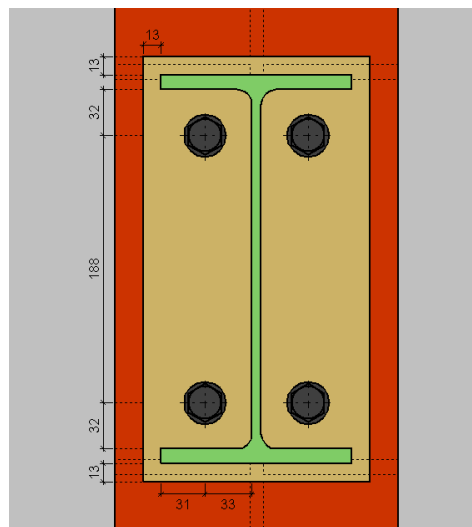


Fig.48. Disposición de tornillos viga (b) IPE 270.

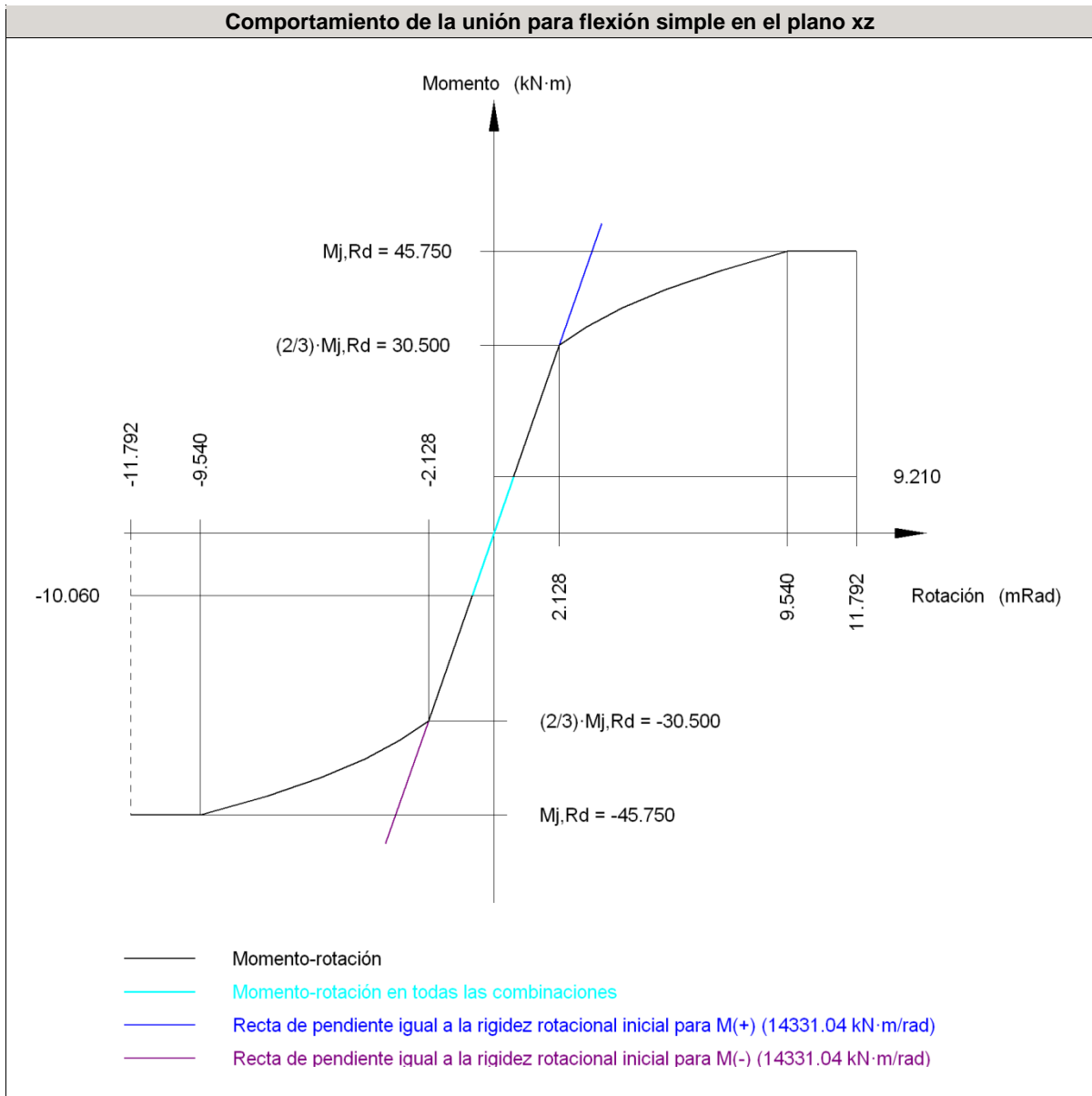
Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	5.174	64.340	8.04	Vástago	19.855	90.432	21.96	23.04	23.04
	Aplastamiento	5.174	182.543	2.83	Punzonamiento	19.855	219.639	9.04		
2	Sección transversal	5.054	64.340	7.86	Vástago	19.798	90.432	21.89	22.54	22.54

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
	Aplastamiento	5.054	183.680	2.75	Punzonamiento	19.798	219.639	9.01		
3	Sección transversal	14.068	64.340	21.87	Vástago	21.978	90.432	24.30	22.91	24.30
	Aplastamiento	14.068	183.469	7.67	Punzonamiento	21.978	219.639	10.01		
4	Sección transversal	5.086	64.340	7.91	Vástago	21.856	90.432	24.17	22.99	24.17
	Aplastamiento	5.086	183.680	2.77	Punzonamiento	21.856	219.639	9.95		

Comprobación de Rigidez rotacional

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	7040.60	14331.04
Calculada para momentos negativos	7040.60	14331.04

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.78	1.80	99.07
Momento resistente	kNm	10.06	45.75	21.99
Capacidad de rotación	mRad	59.543	667	8.93

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

1.78 ≤ 1.80 ✓

b : 1.78

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1	$F_{T,Rd1}$:	<u>322.54</u> kN
$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3	$F_{T,Rd3}$:	<u>180.86</u> kN

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

10.06 kN·m £ 45.75 kN·m ✓

M_{Ed} : Momento solicitante	M_{Ed} :	<u>10.06</u> kN·m
$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:	$M_{j,Rd}$:	<u>45.75</u> kN·m

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

0.06 £ 0.67 ✓

f_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante	f_{Ed} :	<u>0.70</u> mRad
f_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.	f_{Cd} :	<u>11.79</u> mRad

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones	h :	<u>226</u> Mm
b : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3	b :	<u>1.78</u>

3) Viga (a) IPE 300

Comprobación de resistencia – Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	24.48	178.95	13.68
Ala	Compresión	kN	24.95	217.11	11.49
	Tracción	kN	5.69	210.18	2.71

Alma	Tracción	kN	13.11	155.21	8.45
------	----------	----	-------	--------	------

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$24.48 \text{ kN} \leq 178.95 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$$F_{T,Ed}: \text{ Fuerza de tracción solicitante} \quad F_{T,Ed} : \underline{24.48} \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd}: \text{ Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente} \quad F_{T,Rd} : \underline{178.95} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : \underline{178.95} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : \underline{322.54} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 3.

$$F_{T,Rd} : \underline{178.95} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{2.55} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\dot{a}F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\dot{a}F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{14.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{29} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \geq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{36} \text{ mm}$$

$\dot{a}l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\dot{a}l_{eff,1} : \underline{182} \text{ mm}$$

$\dot{a}l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\dot{a}l_{eff,2} : \underline{199} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{Mo} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\dot{a}l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$24.95 \text{ kN} \leq 217.11 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{24.95} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{217.11} \text{ kN}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{829} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

r : Factor de reducción	r	:	<u>0.000</u>
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo}	:	<u>1.05</u>

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axial.

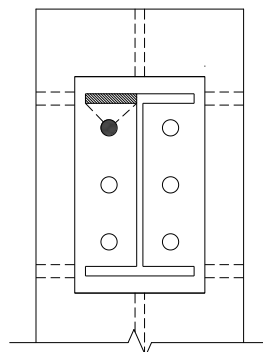
N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd}: Resistencia de cálculo. **f_{yd}** : 261.90 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico. **f_y** : 275.00 N/mm²

g_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. **g_{Mo}** : 1.05

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	803	5.69	210.18	2.71
å		5.69	210.18	2.71



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$13.11 \text{ kN} \leq 155.21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial. $N_{Ed} : \underline{13.11} \text{ kN}$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción. $N_{t,Rd} : \underline{155.21} \text{ kN}$

Donde:

A : Área sometida a tracción $A : \underline{593.00} \text{ mm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $g_{M0} : \underline{1.05}$

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_\wedge (N/mm ²)	t_\wedge (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_\wedge (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	24.4	29.1	1.4	56.1	14.54	29.8	9.07	410.0	0.85
Soldadura del alma	16.3	16.3	11.5	38.2	9.90	16.3	4.97	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	23.9	28.5	0.4	54.8	14.20	27.9	8.50	410.0	0.85

Comprobación de resistencia – Tornillos

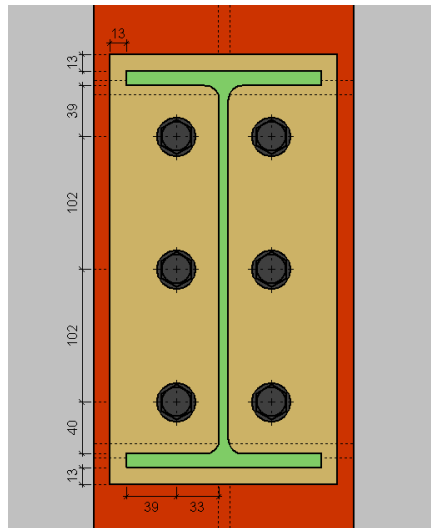


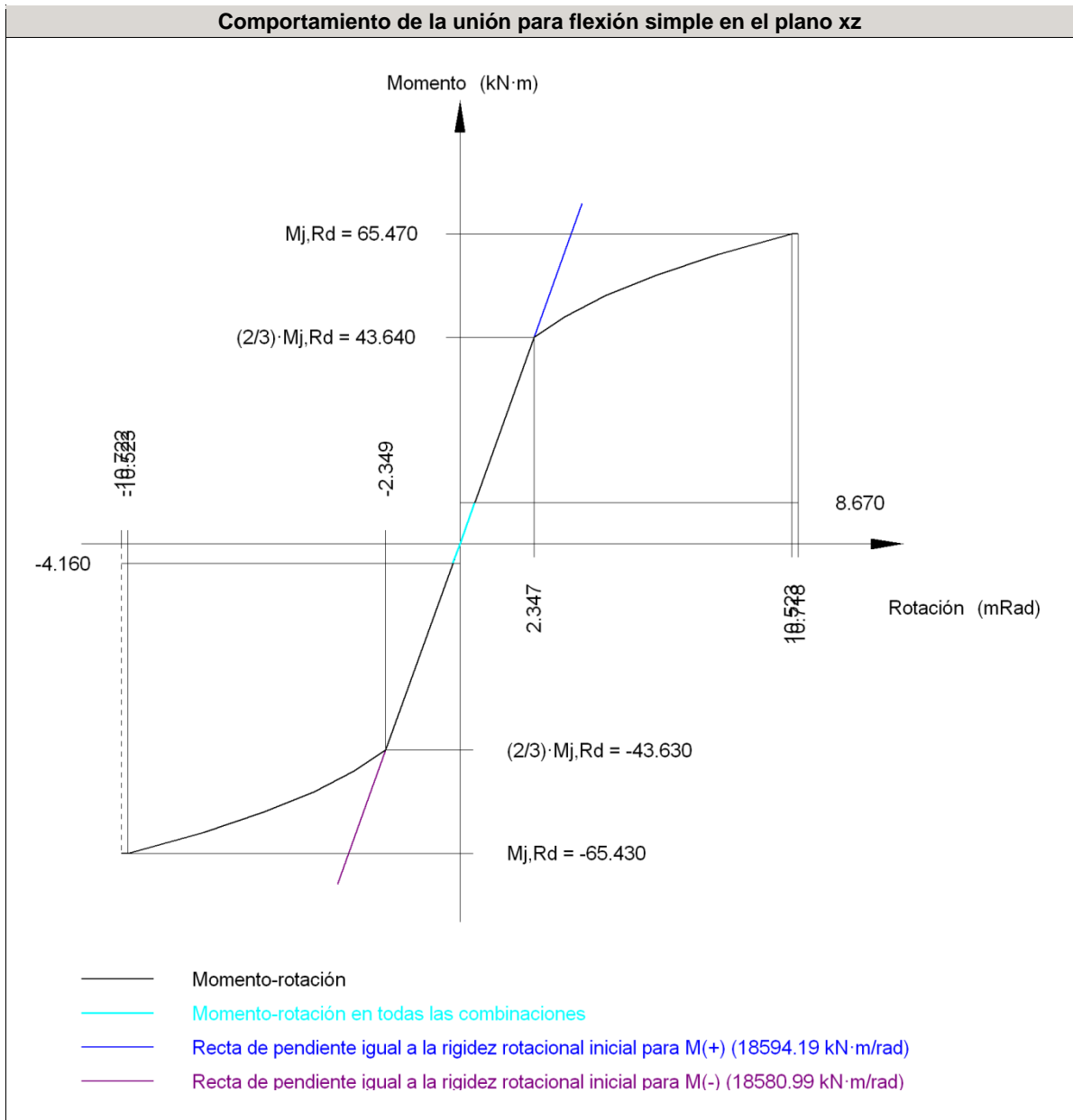
Fig.49. Disposición de tornillos viga (a) IPE 300.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	11.223	64.340	17.44	Vástago	8.743	90.432	9.67	17.44	17.44
	Aplastamiento	11.223	183.680	6.11	Punzonamiento	8.743	219.639	3.98		
2	Sección transversal	10.409	64.340	16.18	Vástago	6.616	90.432	7.32	16.18	16.18
	Aplastamiento	10.409	183.680	5.67	Punzonamiento	6.616	219.639	3.01		
3	Sección transversal	4.099	64.340	6.37	Vástago	9.724	90.432	10.75	12.46	12.46
	Aplastamiento	4.099	183.680	2.23	Punzonamiento	9.724	219.639	4.43		
4	Sección transversal	4.608	64.340	7.16	Vástago	8.784	90.432	9.71	13.00	13.00
	Aplastamiento	4.608	183.680	2.51	Punzonamiento	8.784	219.639	4.00		
5	Sección transversal	4.404	64.340	6.85	Vástago	11.530	90.432	12.75	15.50	15.50
	Aplastamiento	4.404	183.680	2.40	Punzonamiento	11.530	219.639	5.25		
6	Sección transversal	4.627	64.340	7.19	Vástago	12.371	90.432	13.68	15.85	15.85
	Aplastamiento	4.627	183.680	2.52	Punzonamiento	12.371	219.639	5.63		

Comprobación de Rigidez rotacional

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	9809.12	18594.19
Calculada para momentos negativos	9809.12	18580.99

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.78	1.80	99.07
Momento resistente	kNm	8.67	65.47	13.24
Capacidad de rotación	mRad	43.513	667	6.53

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

1.78 ≤ 1.80 ✓

b : 1.78

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1	$F_{T,Rd1} :$	<u>322.54</u> kN
$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3	$F_{T,Rd3} :$	<u>180.86</u> kN

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$8.67 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 65.47 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante	$M_{Ed} :$	<u>8.67</u> kN·m
$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:	$M_{j,Rd} :$	<u>65.47</u> kN·m

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$0.04 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

f_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante	$f_{Ed} :$	<u>0.47</u> mRad
f_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.	$f_{Cd} :$	<u>10.72</u> mRad

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones	h :	<u>249</u> mm
b : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3	b :	<u>1.78</u>

4) Viga (c) IPE 270

Comprobacion de resistecia – Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.04
	Tensiones combinadas	--	--	--	7.79

	Pandeo local	N/mm ²	20.37	228.15	8.93
	Aplastamiento	kN	11.02	87.43	12.61
	Desgarro	kN	32.21	200.81	16.04
Alma	Aplastamiento	kN	11.02	86.59	12.73
	Desgarro	kN	32.21	221.28	14.56

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante de cálculo.} \quad V_{Ed} : \quad \underline{0.10 \text{ kN}} \quad \text{£ } \underline{219.56 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

$$V_{c,Rd} : \text{Resistencia plástica de las secciones a cortante } V_{pl,Rd} \quad V_{c,Rd} : \quad \underline{219.56 \text{ kN}}$$

Donde:

$$A_v : \text{Área sometida a cortante} \quad A_v : \quad \underline{1452 \text{ mm}^2}$$

$$f_{yd} : \text{Resistencia de cálculo.} \quad f_{yd} : \quad \underline{261.90 \text{ N/mm}^2}$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} : \text{Valor de cálculo del momento flector.} \quad M_{Ed} : \quad \underline{0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}} \quad \text{£ } \underline{20.92 \text{ kN}\cdot\text{m}} \quad \checkmark$$

$$M_{c,Rd} : \text{Resistencia de cálculo de la sección a flexión.} \quad M_{c,Rd} : \quad \underline{20.92 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

Siendo

$$W_{pl} : \text{Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.} \quad W_{pl} : \quad \underline{79860.0 \text{ mm}^3}$$

$$f_{yd} : \text{Resistencia de cálculo.} \quad f_{yd} : \quad \underline{261.90 \text{ N/mm}^2}$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

siendo

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

0.10 kN £ 109.78 kN

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde s , t_{yz} y t_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

20.40 N/mm² £ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

s : Tensión normal	s : <u>-20.37</u> N/mm ²
t_{yz} : Tensión tangencial yz	t_{yz} : <u>0.00</u> N/mm ²
t_{xz} : Tensión tangencial xz	t_{xz} : <u>-0.68</u> N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : <u>275.00</u> N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} : <u>1.05</u>

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

20.37 N/mm² £ 228.15 N/mm² ✓

Donde:

s_{c,Ed} : Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.	s_{c,Ed} : <u>20.37</u> N/mm ²
s_{b,Rd} : Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.	s_{b,Rd} : <u>228.15</u> N/mm ²

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

Donde:

c : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado	c :	<u>0.87</u>
f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / g_{M1}$ con $g_{M1} = 1.05$	f_{yd} :	<u>2.57</u> N/mm ²

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

Siendo

	j :	<u>0.66</u>
a : Coeficiente de imperfección	a :	<u>0.49</u>
	λ :	<u>0.45</u>

Donde:

b : Coeficiente de pandeo	b :	<u>2.00</u>
L : Longitud hasta la primera columna de tornillos	L :	<u>45</u> Mm
t : Espesor de la chapa	t :	<u>8.0</u> Mm
E : Módulo de elasticidad	E :	<u>210000.00</u> N/mm ²

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

0.13 £ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

Siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza	f_u :	<u>410.00</u> N/mm ²
t : Espesor de la chapa	t :	<u>8.0</u> Mm
d : Diámetro del tornillo.	d :	<u>16</u> Mm
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	<u>1.25</u>

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$f_{ub} : \underline{\underline{800.00}} \text{ N/mm}^2$

 d_0 : Diámetro del agujero.

$d_0 : \underline{\underline{18}} \text{ mm}$

Dirección	a	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	-11.02	87.47
z	0.50	27.0	--	-0.24	52.48

a: coeficiente igual al menor de los valores:

 e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$32.21 \text{ kN} \leq 200.81 \text{ kN} \checkmark$

Donde:

 N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{\underline{32.21}} \text{ kN}$

 $N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{\underline{200.81}} \text{ kN}$

Siendo

 A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{\underline{1328.00}} \text{ mm}^2$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{\underline{275.00}} \text{ N/mm}^2$

 f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{\underline{410.00}} \text{ N/mm}^2$

 g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$g_{M2} : \underline{\underline{1.25}}$

 g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

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

- Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

0.13 £ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza	f_u :	<u>410.00</u> N/mm ²
t : Espesor de la chapa	t :	<u>6.6</u> Mm
d : Diámetro del tornillo.	d :	<u>16</u> Mm
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	<u>1.25</u>
f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.	f_{ub} :	<u>800.00</u> N/mm ²
d_0 : Diámetro del agujero.	d_0 :	<u>18</u> Mm

Dirección	a	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	1.00	112.5	--	-11.02	86.59
z	1.00	240.7	83.0	-0.24	86.59

a: coeficiente igual al menor de los valores:

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarró (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

32.21 kN £ 221.28 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

N_{Ed} : 32.21 kN

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarró

$N_{ef,Rd}$: 221.28 kN

Siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro	A_n :	<u>1463.00</u> mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
f_u : Tensión de rotura.	f_u :	<u>410.00</u> N/mm ²
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	<u>1.25</u>
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Ref.	Comprobación de resistencia									
	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w	
	s_\wedge (N/mm ²)	t_\wedge (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_\wedge (N/mm ²)	Aprov. (%)			
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	10.9	10.9	0.3	21.7	5.63	10.9	3.31	410.0	0.85	

Comprobación de resistencia - Tornillos

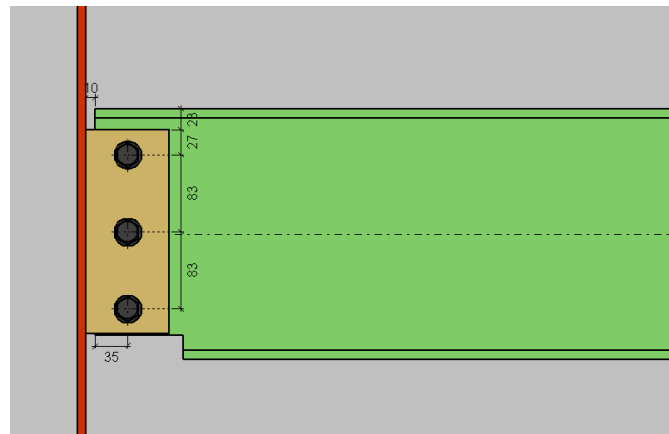


Fig.50. Disposición de tornillos viga © IPE 270.

Tornillo	Resistencia									
	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	11.024	50.240	21.94	Vástago	0.000	90.432	0.00	21.94	21.94
	Aplastamiento	11.024	87.431	12.61	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		
2	Sección transversal	10.739	50.240	21.37	Vástago	0.000	90.432	0.00	21.37	21.37
	Aplastamiento	10.739	87.485	12.28	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
3	Sección transversal	10.577	50.240	21.05	Vástago	0.000	90.432	0.00	21.05	21.05
	Aplastamiento	10.577	87.486	12.09	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		

- Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	3	465
			4	1642
			5	2834

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	170x95x11	5.58
	Chapas	1	90x220x8	1.24
		1	160x300x14	5.28
		1	175x330x14	6.35
	Total			

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	10	ISO 4014-M16x65
		3	ISO 4017-M16x40
Tuercas	Clase 8	13	ISO 4032-M16
Arandelas	Dureza 200 HV	26	ISO 7089-16

3.5.5.8.2. Pilar central del segundo pórtico

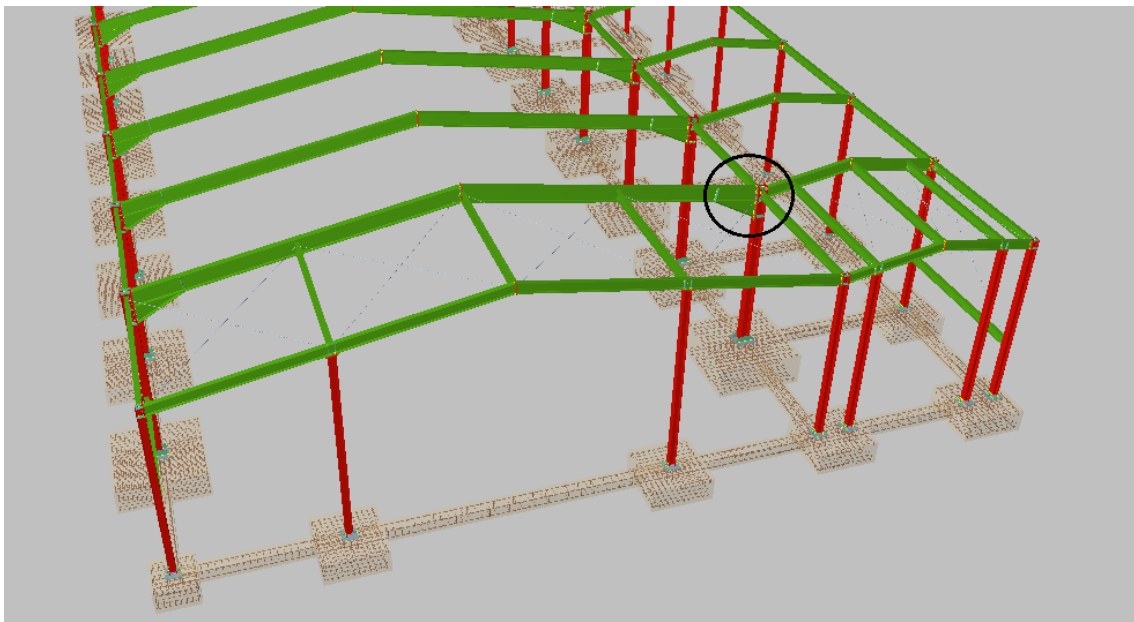


Fig.51. Localización de la unión.

Esta unión es la más solicitada en cuanto a esfuerzos se refiere, ya que soporta el dintel del segundo pórtico. En el además, confluyen el dintel del almacén y dos vigas de atado. A continuación se desglosa el estudio completo de la unión y de cada uno de sus elementos.

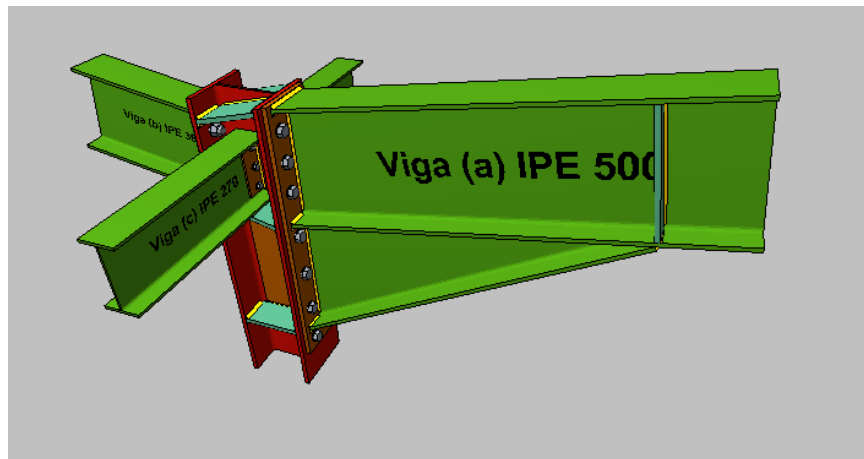
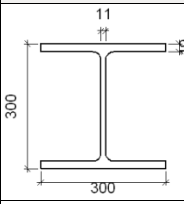
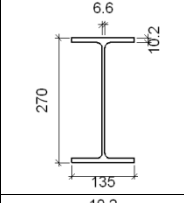
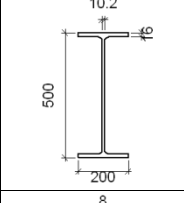
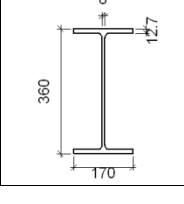
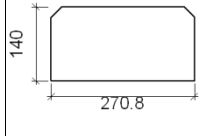
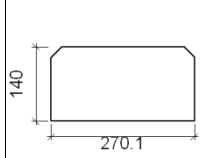
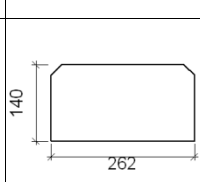


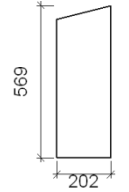
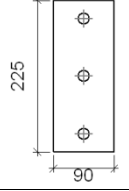
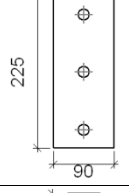
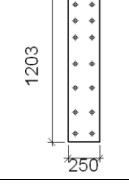
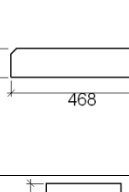
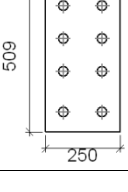
Fig.52. Unión 2 en 3D.

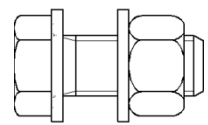
- Componentes de la unión

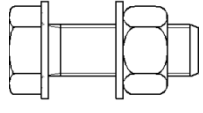
Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Tipo	Acero	
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)		f_y (MPa)	f_u (MPa)

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 300 B		300	300	19	11	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 270		270	135	10.2	6.6	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 500		500	200	16	10.2	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 360		360	170	12.7	8	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Rigidizador		270.8	140	18	-	-	S355	355.0	470.0
Rigidizador		270.1	140	18	-	-	S355	355.0	470.0
Rigidizador		262	140	18	-	-	S355	355.0	470.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Chapa de refuerzo		202	569	11	-	-	S275	275.0	410.0
Chapa lateral: Viga (c) IPE 270		90	225	8	3	18	S355	355.0	470.0
Chapa lateral: Viga (d) IPE 270		90	225	8	3	18	S355	355.0	470.0
Chapa frontal: Viga (a) IPE 500		250	1203	20	14	33	S355	355.0	470.0
Rigidizador de refuerzo del extremo de la cartela		468	94.9	18	-	-	S355	355.0	470.0
Chapa frontal: Viga (b) IPE 360		250	509	25	8	33	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_y (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M16x40-8.8 ISO 4032-M16-8 2 ISO 7089-16-200 HV		M16	40	8.8	640.0	800.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_y (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M30x90-10.9 ISO 4032-M30-10 2 ISO 7089-30-300 HV		M30	90	10.9	900.0	1000.0

- Tipos de unión

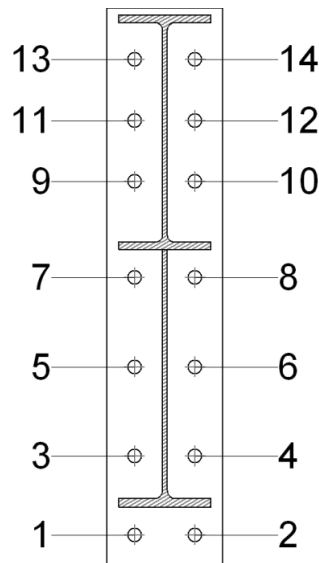
1) Viga (a) IPE 500 – Pilar HE 300 B

Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	10	200	16.0	80.03	
Soldadura del alma	En ángulo	6	443	10.2	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	10	200	16.0	80.03	
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	6	519	10.2	90.00	
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	10	200	16.0	60.50	
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	7	1400	10.2	90.00	
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	11	200	16.0	70.47	
Soldadura del rigidizador de refuerzo del extremo de la cartela a las alas	En ángulo	3	436	16.0	90.00	
Soldadura del rigidizador de refuerzo del extremo de la cartela al alma	En ángulo	3	79	10.2	90.00	

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Unión atornillada – Chapa frontal



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	64	131	170	49.0
2	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	64	131	170	49.0
3	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	170	49.0
4	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	170	49.0
5	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	193	49.0
6	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	193	49.0
7	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	193	49.0
8	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	193	49.0
9	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	132	49.0
10	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	132	49.0
11	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	132	49.0
12	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	132	49.0
13	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	132	49.0
14	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	132	49.0

--: La comprobación no procede.

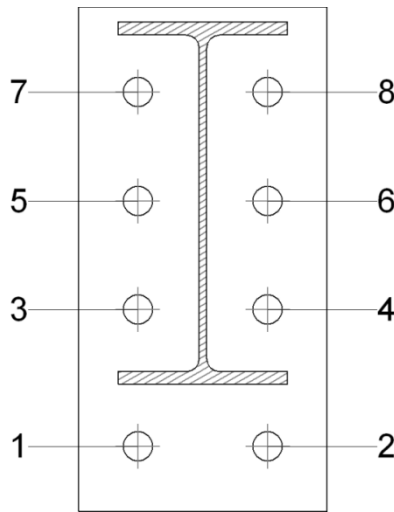
2) Viga (b) IPE 360 – Pilar HE 300 B

Unión soldada

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	170	12.7	79.98
Soldadura del alma	En ángulo	4	314	8.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	170	12.7	79.98

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Unión atornillada – Chapa frontal

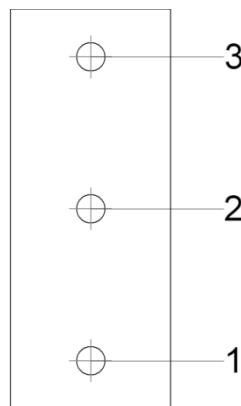


Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	M (mm)
1	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	138	49.0
2	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	138	49.0
3	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	109	49.0
4	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	109	49.0
5	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	109	49.0
6	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	109	49.0
7	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	110	49.0
8	ISO 4017-M30x90-10.9	33.0	60	--	131	110	49.0

--: La comprobación no procede.

3) Viga (c) IPE 270 – Pilar HE 300 B

Unión atornillada – Chapa lateral



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	86	27.0
2	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	--	--	86	45.0
3	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	86	27.0

--: La comprobación no procede.

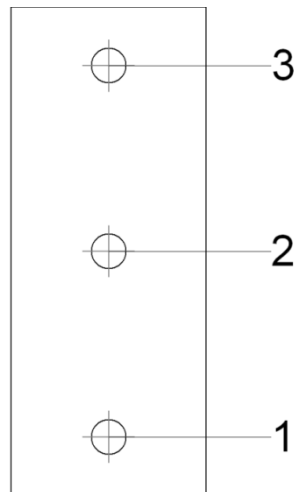
Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	225	8.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

4) Viga (d) IPE 270 – Pilar HE 300 B

Unión atornillada – Chapa lateral



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	86	27.0
2	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	--	--	86	45.0
3	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	86	27.0

--: La comprobación no procede.

Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	225	8.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

5) Rigidizadores – Pilar HE 300 B

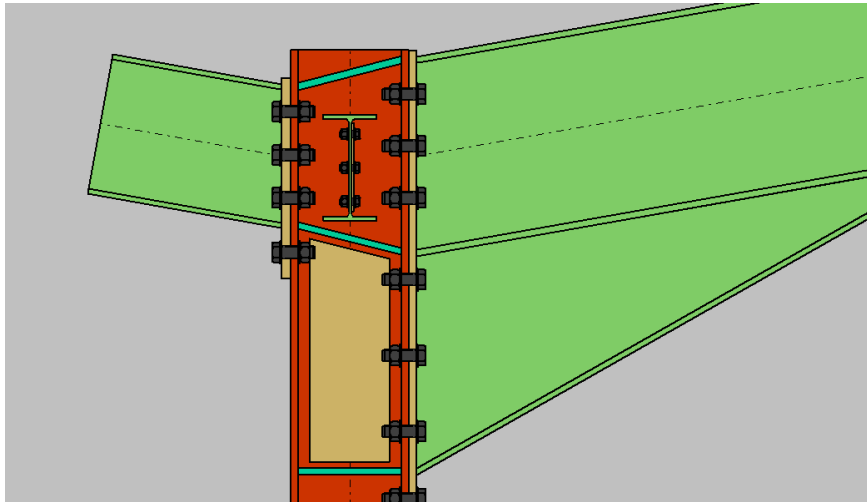


Fig.53. Disposición de rigidizadores.

Unión soldada

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	10	121	18.0	75.38
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	233	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador intermedio a las alas	En ángulo	10	121	18.0	75.91
Soldadura del rigidizador intermedio al alma	En ángulo	5	232	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	10	121	18.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	224	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	10	121	18.0	75.38
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	233	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador intermedio a las alas	En ángulo	10	121	18.0	75.91
Soldadura del rigidizador intermedio al alma	En ángulo	5	232	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	10	121	18.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	224	11.0	90.00
Soldadura de la chapa de refuerzo al alma	En ángulo	4	1498	11.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

- Comprobación

1) Pilar HE 300 B

Comprobación de resistencia - Elementos

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltez	--	--	--	36.81	
	Cortante	kN	921.38	1827.98	50.40	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	111.06	261.90	42.40	
Rigidizador intermedio	Tensión de Von Mises	N/mm ²	87.52	261.90	33.42	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	115.41	261.90	44.07	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	110.56	261.90	42.21	
Rigidizador intermedio	Tensión de Von Mises	N/mm ²	88.22	261.90	33.68	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	117.06	261.90	44.70	
Ala	Desgarro	N/mm ²	208.32	261.90	79.54	
	Cortante	N/mm ²	206.11	261.90	78.70	
Viga (a) IPE 500	Ala	Tracción por flexión	kN	167.05	313.61	53.27
		Tracción	kN	39.91	885.47	4.51
Viga (b) IPE 360	Alma	Tracción	kN	167.05	379.97	43.97
	Ala	Tracción por flexión	kN	354.81	594.06	59.73
		Tracción	kN	88.39	874.20	10.11
Viga (c) IPE 270	Alma	Tracción	kN	178.03	288.44	61.72
		Punzonamiento	kN	35.49	1156.43	3.07
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	25.71	134.70	19.09
Viga (d) IPE 270	Alma	Punzonamiento	kN	35.10	1156.43	3.04
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	20.26	134.70	15.04

- Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$23.82 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma
 t_{wc} : Espesor del alma.

$$d_{wc} : \underline{262} \text{ mm}$$

$$t_{wc} : \underline{11.0} \text{ mm}$$

$e : 0.92$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : 275.00 \text{ N/mm}^2$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

921.38 kN £ 1827.98 kN ✓

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$V_{wp,Ed} : 921.38 \text{ kN}$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$V_{wp,Rd} : 1827.98 \text{ kN}$

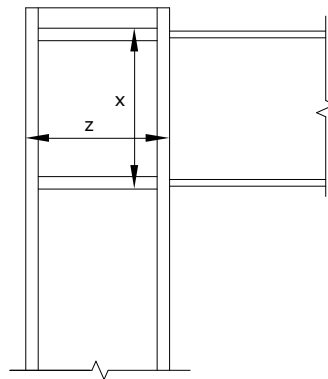
Donde:

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$f_{yd} : 261.90 \text{ N/mm}^2$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	6600	436.93	898.19	48.65
x	13432	921.38	1827.98	50.40



- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$111.06 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

$$s: \text{ Tensión normal} \quad s : \quad \underline{111.05 \text{ N/mm}^2}$$

$$F_{\perp}: \text{ Esfuerzo de cálculo normal de la sección} \quad F_{\perp} : \quad \underline{158.91 \text{ kN}}$$

$$L_{\perp}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos normales} \quad L_{\perp} : \quad \underline{80 \text{ mm}}$$

$$t: \text{ Tensión tangencial} \quad t : \quad \underline{0.98 \text{ N/mm}^2}$$

$$F_{\parallel}: \text{ Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección} \quad F_{\parallel} : \quad \underline{2.13 \text{ kN}}$$

$$L_{\parallel}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales} \quad L_{\parallel} : \quad \underline{121 \text{ mm}}$$

$$t: \text{ Espesor} \quad t : \quad \underline{18.0 \text{ mm}}$$

$$f_y: \text{ Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \quad \underline{275.00 \text{ N/mm}^2}$$

$$g_{Mo}: \text{ Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.} \quad g_{Mo} : \quad \underline{1.05}$$

- Rigidizador intermedio

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$87.52 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

$$s: \text{ Tensión normal} \quad s : \quad \underline{-87.50 \text{ N/mm}^2}$$

$$F_{\perp}: \text{ Esfuerzo de cálculo normal de la sección} \quad F_{\perp} : \quad \underline{-164.58 \text{ kN}}$$

$$L_{\perp}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos normales} \quad L_{\perp} : \quad \underline{105 \text{ mm}}$$

$$t: \text{ Tensión tangencial} \quad t : \quad \underline{-1.15 \text{ N/mm}^2}$$

$$F_{\parallel}: \text{ Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección} \quad F_{\parallel} : \quad \underline{-2.51 \text{ kN}}$$

$L_{ }$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	$L_{ }$:	<u>121</u> mm
t: Espesor	t:	<u>18.0</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$115.41 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal	s:	<u>115.40</u> N/mm ²
-------------------	----	---------------------------------

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección	F_{\perp} :	<u>237.84</u> kN
L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales	L_{\perp} :	<u>115</u> Mm
t: Tensión tangencial	t:	<u>-1.07</u> N/mm ²

$F_{ }$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección	$F_{ }$:	<u>-2.34</u> kN
$L_{ }$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	$L_{ }$:	<u>121</u> Mm
t: Espesor	t:	<u>18.0</u> Mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$110.56 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal	s:	<u>110.55</u> N/mm ²
-------------------	----	---------------------------------

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección	F_{\perp} :	<u>158.19</u> kN
L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales	L_{\perp} :	<u>80</u> mm
t: Tensión tangencial	t :	<u>-0.88</u> N/mm ²

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección	F_{\parallel} :	<u>-1.92</u> kN
L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	L_{\parallel} :	<u>121</u> mm
t: Espesor	t :	<u>18.0</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>

- Rigidizador intermedio

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$88.22 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal	s :	<u>-88.19</u> N/mm ²
-------------------	-----	---------------------------------

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección	F_{\perp} :	<u>-165.88</u> kN
L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales	L_{\perp} :	<u>105</u> mm
t: Tensión tangencial	t :	<u>1.35</u> N/mm ²

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección	F_{\parallel} :	<u>2.95</u> kN
L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	L_{\parallel} :	<u>121</u> mm
t: Espesor	t :	<u>18.0</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$117.06 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

$$s: \text{ Tensión normal} \quad s : \quad \underline{117.04 \text{ N/mm}^2}$$

$$F_{\perp}: \text{ Esfuerzo de cálculo normal de la sección} \quad F_{\perp} : \quad \underline{241.21 \text{ kN}}$$

$$L_{\perp}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos normales} \quad L_{\perp} : \quad \underline{115 \text{ mm}}$$

$$t: \text{ Tensión tangencial} \quad t : \quad \underline{1.30 \text{ N/mm}^2}$$

$$F_{\parallel}: \text{ Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección} \quad F_{\parallel} : \quad \underline{2.83 \text{ kN}}$$

$$L_{\parallel}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales} \quad L_{\parallel} : \quad \underline{121 \text{ mm}}$$

$$t: \text{ Espesor} \quad t : \quad \underline{18.0 \text{ mm}}$$

$$f_y: \text{ Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \quad \underline{275.00 \text{ N/mm}^2}$$

$$g_{Mo}: \text{ Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.} \quad g_{Mo} : \quad \underline{1.05}$$

- Comprobaciones por unión con elemento "

- Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$208.32 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

$$s: \text{ Tensión normal} \quad s : \quad \underline{208.32 \text{ N/mm}^2}$$

$$t: \text{ Tensión tangencial} \quad t : \quad \underline{0.72 \text{ N/mm}^2}$$

$$f_y: \text{ Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \quad \underline{275.00 \text{ N/mm}^2}$$

$$g_{Mo}: \text{ Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.} \quad g_{Mo} : \quad \underline{1.05}$$

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$206.11 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal	$s : 206.09 \text{ N/mm}^2$
t: Tensión tangencial	$t : 1.71 \text{ N/mm}^2$
f_y: Tensión de límite elástico.	$f_y : 275.00 \text{ N/mm}^2$
g_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	$g_{Mo} : 1.05$

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 500'

- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$167.05 \text{ kN} \leq 313.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante	$F_{T,Ed} : 167.05 \text{ kN}$
F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente	$F_{T,Rd} : 313.61 \text{ kN}$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : 807.84 \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : 510.65 \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : \underline{313.61} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en el grupo de filas: 6 y 7.

$$F_{T,Rd} : \underline{313.61} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{3.51} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{3.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{807.84} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{19.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{45} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{56} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{149} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma l_{eff,2} : \underline{132} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{Mo} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

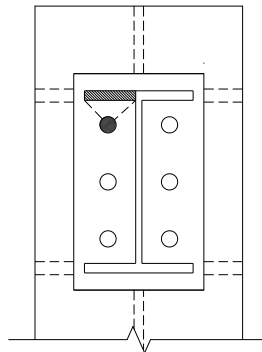
$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{\underline{338.10}} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{\underline{355.00}} \text{ N/mm}^2$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $g_{M0} : \underline{\underline{1.05}}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	2619	39.91	885.47	4.51
à		39.91	885.47	4.51



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

167.05 kN ≤ 379.97 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial. $N_{Ed} : \underline{\underline{167.05}} \text{ kN}$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción. $N_{t,Rd} : \underline{\underline{379.97}} \text{ kN}$

Donde:

A : Área sometida a tracción $A : \underline{\underline{1451.00}} \text{ mm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{\underline{261.90}} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 360'

- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$354.81 \text{ kN} \leq 594.06 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$$F_{T,Ed}: \text{ Fuerza de tracción solicitante} \quad F_{T,Ed} : \underline{354.81} \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd}: \text{ Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente} \quad F_{T,Rd} : \underline{594.06} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : \underline{807.84} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : \underline{604.35} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : \underline{594.06} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 4.

$$F_{T,Rd} : \underline{594.06} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{6.65} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{7.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{807.84} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{19.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{45} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{56} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{281} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma l_{eff,2} : \underline{332} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{Mo} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

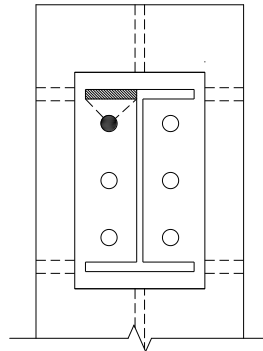
$$f_{yd} : \text{Resistencia de cálculo.} \quad f_{yd} : \underline{338.10} \text{ N/mm}^2$$

$$f_y : \text{Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \underline{355.00} \text{ N/mm}^2$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

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

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	2586	88.39	874.20	10.11
å		88.39	874.20	10.11



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$178.03 \text{ kN} \leq 288.44 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{\underline{178.03}} \text{ kN}$$

N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{\underline{288.44}} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área sometida a tracción

$$A : \underline{\underline{1101.00}} \text{ mm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{\underline{261.90}} \text{ N/mm}^2$$

f_y: Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{\underline{275.00}} \text{ N/mm}^2$$

g_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

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

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (c) IPE 270'

- Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

35.49 kN £ 1156.43 kN ✓

Donde:

 N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo N_{Ed} : 35.49 kN N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$ N_{Rd} : 1156.43 kN**Esfuerzo cortante**

Donde:

 A_v : Área sometida a cortante A_v : 5126 mm² t : Espesor del elemento en la superficie de unión t : 11.0 mm t_p : Espesor del elemento de unión t_p : 8.0 mm h_p : Altura del elemento de unión h_p : 225 mm f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión. f_u : 470.00 N/mm² g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión. g_{M2} : 1.25

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

25.71 kN £ 134.70 kN ✓

 N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo N_{Ed} : 25.71 kN N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión N_{Rd} : 134.70 kN

Donde:

 t_w : Espesor del alma. t_w : 11.0 mm k_m : Coeficiente de interacción k_m : 1.00

	m :	<u>0.97</u>
h_p : Altura del elemento de unión	h_p :	<u>225</u> mm
h_{iw} : Canto del alma entre radios de acuerdo	h_{iw} :	<u>232</u> mm
	b :	<u>0.03</u>
t_p : Espesor del elemento de unión	t_p :	<u>8.0</u> mm
W_{pl} : Modulo plástico resistente	W_{pl} :	<u>3403</u> mm ³
l_{ch} : Longitud de la línea de charnela	l_{ch} :	<u>113</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.	g_{M5} :	<u>1.00</u>

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (d) IPE 270'

- Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$35.10 \text{ kN} \leq 1156.43 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed}: Esfuerzo de cálculo **N_{Ed} :** 35.10 kN

N_{Rd}: Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$ **N_{Rd} :** 1156.43 kN

Esfuerzo cortante

Donde:

A_v: Área sometida a cortante **A_v :** 5126 mm²

t: Espesor del elemento en la superficie de unión **t :** 11.0 mm

t_p: Espesor del elemento de unión **t_p :** 8.0 mm

h_p: Altura del elemento de unión **h_p :** 225 mm

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.	f_u :	<u>470.00</u> N/mm ²
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	<u>1.25</u>

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

		20.26 kN £ 134.70 kN ✓
N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo	N_{Ed} :	<u>20.26</u> kN
N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión	N_{Rd} :	<u>134.70</u> kN

Donde:

t_w : Espesor del alma.	t_w :	<u>11.0</u> mm
k_m : Coeficiente de interacción	k_m :	<u>1.00</u>
	m :	<u>0.97</u>
h_p : Altura del elemento de unión	h_p :	<u>225</u> mm
h_{iw} : Canto del alma entre radios de acuerdo	h_{iw} :	<u>232</u> mm
	b :	<u>0.03</u>
t_p : Espesor del elemento de unión	t_p :	<u>8.0</u> mm
W_{pl} : Modulo plástico resistente	W_{pl} :	<u>3403</u> mm ³
l_{ch} : Longitud de la línea de charnela	l_{ch} :	<u>113</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.	g_{M5} :	<u>1.00</u>

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	σ_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	σ_{\parallel} (N/mm ²)	σ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	61.1	79.1	0.9	150.0	38.87	61.1	18.63	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	18.8	32.6	8.44	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador intermedio a las alas	48.4	62.1	1.0	118.0	30.57	48.4	14.77	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador intermedio al alma	0.0	0.0	73.2	126.8	32.85	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	73.4	73.4	1.0	146.9	38.07	73.4	22.39	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	106.3	184.1	47.70	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	60.8	78.7	0.8	149.3	38.70	60.8	18.55	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	18.9	32.8	8.49	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador intermedio a las alas	48.8	62.6	1.2	118.9	30.81	48.8	14.88	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador intermedio al alma	0.0	0.0	73.8	127.8	33.12	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	74.5	74.5	1.2	149.0	38.61	74.5	22.71	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	107.8	186.7	48.39	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura de la chapa de refuerzo al alma	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Viga (a) IPE 500

Comprobación de resistencia - Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	167.05	326.50	51.17
Ala	Compresión	kN	476.63	962.93	49.50
	Tracción	kN	58.20	481.46	12.09
Alma	Tracción	kN	167.05	352.33	47.41
Rigidizadores	Cortante	kN	73.54	1644.36	4.47

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

167.05 kN £ 326.50 kN ✓

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante $F_{T,Ed} : \underline{167.05}$ kN

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente $F_{T,Rd} : \underline{326.50}$ kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$F_{T,3,Rd} : \underline{807.84}$ kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$F_{T,2,Rd} : \underline{499.30}$ kN

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$F_{T,1,Rd} : \underline{326.50}$ kN

La menor resistencia se ha obtenido en el grupo de filas: 6 y 7.

$F_{T,Rd} : \underline{326.50}$ kN

Donde:

$M_{pl,1,Rd} : \underline{4.46}$ kN·m

$M_{pl,2,Rd} : \underline{4.46}$ kN·m

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$\sum F_{t,Rd} : \underline{807.84}$ kN

t_f : Espesor de la chapa

$t_f : \underline{20.0}$ mm

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$m : \underline{55}$ mm

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$n : \underline{60}$ mm

$\dot{a}l_{\text{eff},1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*	$\dot{a}l_{\text{eff},1}$: <u>132</u> mm
$\dot{a}l_{\text{eff},2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*	$\dot{a}l_{\text{eff},2}$: <u>132</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : <u>355.00</u> N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} : <u>1.05</u>

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\dot{a}l_{\text{eff}}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$476.63 \text{ kN} \leq 962.93 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.	N_{Ed} : <u>476.63</u> kN
$N_{\text{c,Rd}}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.	$N_{\text{c,Rd}}$: <u>962.93</u> kN

Donde:

A : Área sometida a compresión	A : <u>3677</u> mm ²
f'_y : Tensión de límite elástico reducida.	f'_y : <u>275.00</u> N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : <u>275.00</u> N/mm ²
r : Factor de reducción	r : <u>0.000</u>
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} : <u>1.05</u>

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

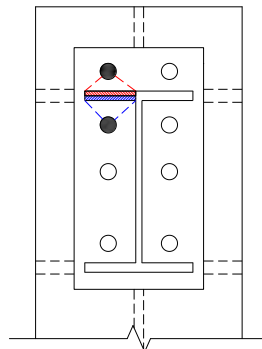
$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $g_{M0} : \underline{1.05}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	1838	14.38	481.46	2.99
Inferior	1838	43.82	481.46	9.10
∅		58.20	481.46	12.09



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$167.05 \text{ kN} \leq 352.33 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial. $N_{Ed} : \underline{167.05} \text{ kN}$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción. $N_{t,Rd} : \underline{352.33} \text{ kN}$

Donde:

A : Área sometida a tracción $A : \underline{1345.00} \text{ mm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $g_{M0} : \underline{1.05}$

- Rigidizadores

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$73.54 \text{ kN} \leq 1644.36 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo. $V_{Ed} : \underline{73.54} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$ $V_{c,Rd} : \underline{1644.36} \text{ kN}$

Donde:

A_v : Área sometida a cortante $A_v : \underline{8424} \text{ mm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{338.10} \text{ N/mm}^2$

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	σ_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	σ_{\parallel} (N/mm ²)	σ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	60.2	71.8	0.4	138.1	35.80	75.3	22.94	410.0	0.85
Soldadura del alma	74.6	74.6	18.8	152.8	39.60	74.6	22.76	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	14.4	17.1	0.3	32.9	8.53	14.4	4.38	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	66.3	66.3	18.8	136.5	35.38	66.3	20.21	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	57.3	98.3	0.2	179.7	46.57	94.1	28.68	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	13.7	23.7	6.13	0.0	0.01	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura del rigidizador de refuerzo del extremo de la cartela a las alas	19.9	19.9	0.0	39.8	10.30	19.9	6.06	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador de refuerzo del extremo de la cartela al alma	0.0	0.0	155.4	269.1	69.73	0.0	0.00	410.0	0.85

Comprobación de resistencia - Tornillos

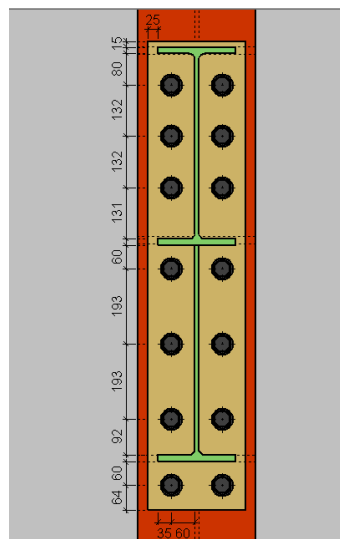


Fig.54. Disposición de tornillos viga (a) IPE 500.

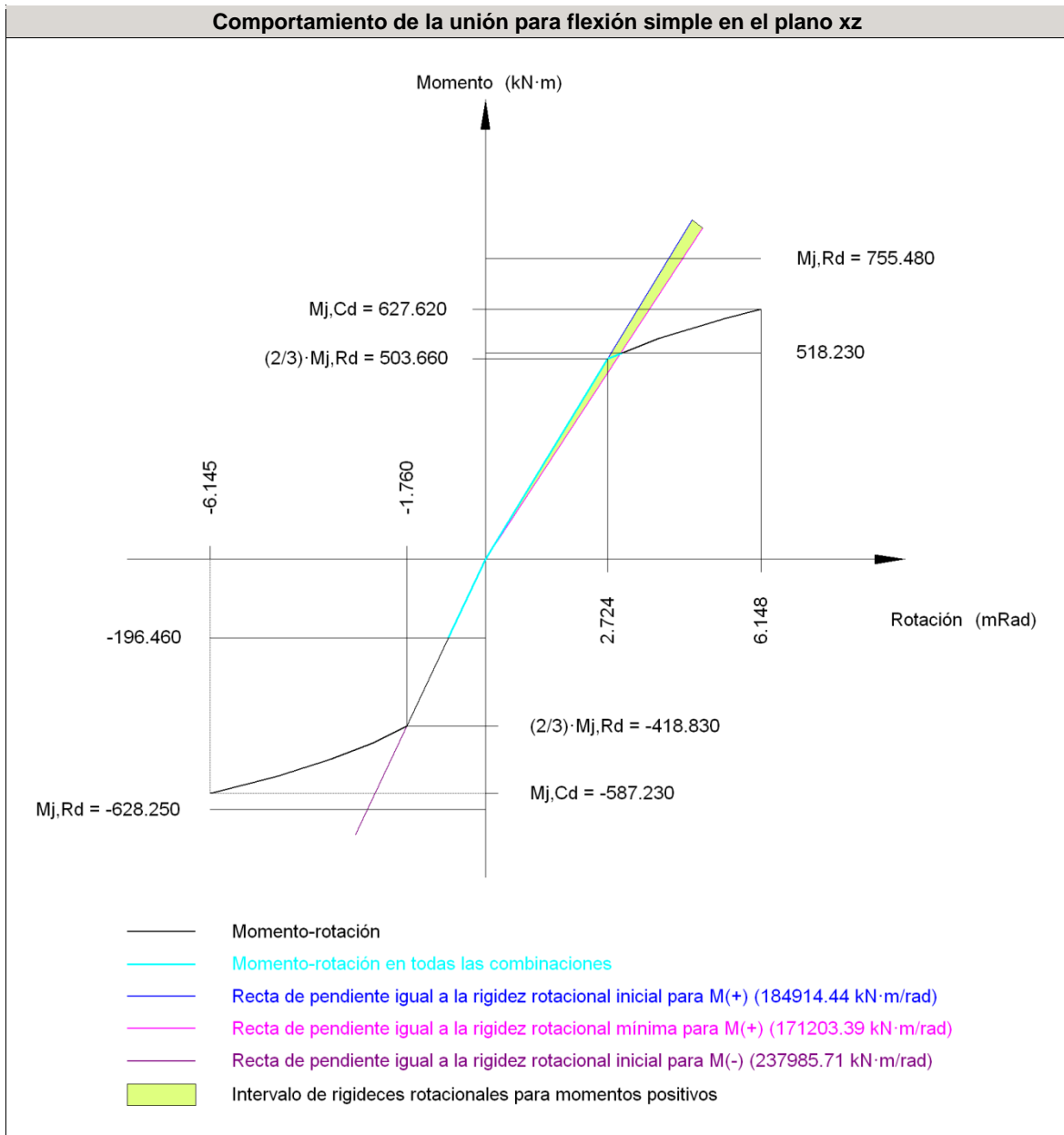
Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	54.391	224.400	24.24	Vástago	67.492	403.920	16.71	24.24	24.24
	Aplastamiento	54.391	467.400	11.64	Punzonamiento	67.492	568.851	11.86		
2	Sección transversal	54.391	224.400	24.24	Vástago	67.091	403.920	16.61	24.24	24.24
	Aplastamiento	54.391	467.398	11.64	Punzonamiento	67.091	568.851	11.79		
3	Sección transversal	54.391	224.400	24.24	Vástago	49.409	403.920	12.23	24.24	24.24

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
	Aplastamiento	54.391	467.400	11.64	Punzonamiento	49.409	568.851	8.69		
4	Sección transversal	54.391	224.400	24.24	Vástago	49.148	403.920	12.17	24.24	24.24
	Aplastamiento	54.391	467.398	11.64	Punzonamiento	49.148	568.851	8.64		
5	Sección transversal	10.866	224.400	4.84	Vástago	40.257	403.920	9.97	7.12	9.97
	Aplastamiento	10.866	467.400	2.32	Punzonamiento	40.257	568.851	7.08		
6	Sección transversal	10.880	224.400	4.85	Vástago	40.093	403.920	9.93	7.09	9.93
	Aplastamiento	10.880	467.367	2.33	Punzonamiento	40.093	568.851	7.05		
7	Sección transversal	10.866	224.400	4.84	Vástago	50.386	403.920	12.47	11.55	12.47
	Aplastamiento	10.866	467.400	2.32	Punzonamiento	50.386	568.851	8.86		
8	Sección transversal	10.880	224.400	4.85	Vástago	49.903	403.920	12.35	11.45	12.35
	Aplastamiento	10.880	467.379	2.33	Punzonamiento	49.903	568.851	8.77		
9	Sección transversal	10.866	224.400	4.84	Vástago	106.029	403.920	26.25	18.97	26.25
	Aplastamiento	10.866	467.400	2.32	Punzonamiento	106.029	568.851	18.64		
10	Sección transversal	10.880	224.400	4.85	Vástago	105.316	403.920	26.07	18.84	26.07
	Aplastamiento	10.880	467.389	2.33	Punzonamiento	105.316	568.851	18.51		
11	Sección transversal	10.866	224.400	4.84	Vástago	135.142	403.920	33.46	23.90	33.46
	Aplastamiento	10.866	467.400	2.32	Punzonamiento	135.142	568.851	23.76		
12	Sección transversal	10.880	224.400	4.85	Vástago	134.343	403.920	33.26	23.76	33.26
	Aplastamiento	10.880	467.394	2.33	Punzonamiento	134.343	568.851	23.62		
13	Sección transversal	41.637	224.400	18.55	Vástago	139.323	403.920	34.49	24.64	34.49
	Aplastamiento	41.637	467.395	8.91	Punzonamiento	139.323	568.851	24.49		
14	Sección transversal	41.637	224.400	18.55	Vástago	138.571	403.920	34.31	24.50	34.31
	Aplastamiento	41.637	467.400	8.91	Punzonamiento	138.571	568.851	24.36		

Comprobación de Rigidez rotacional

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	27936.72	184914.44
Calculada para momentos negativos	27936.72	237985.71

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	0.74	1.80	40.85
Momento resistente	kNm	518.23	755.48	68.60
Capacidad de rotación	Mm	19.00	20.59	92.26

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

0.74 1.80 ✓

: 0.74

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1	$F_{T,Rd1} :$	<u>594.06</u> kN
$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3	$F_{T,Rd3} :$	<u>807.84</u> kN

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$518.23 \text{ kN}\cdot\text{m} \square 755.48 \text{ kN}\cdot\text{m} \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante	$M_{Ed} :$	<u>518.23</u> kN·m
$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:	$M_{j,Rd} :$	<u>755.48</u> kN·m

Capacidad de rotación de la chapa (CTE DB SE-A, 8.7)

Debe cumplirse:

$$19.0 \text{ mm} \square 20.6 \text{ mm} \checkmark$$

Donde:

t : Espesor de la chapa	$t :$	<u>19.0</u> Mm
d : Diámetro del tornillo.	$d :$	<u>30</u> Mm
f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.	$f_{ub} :$	<u>1000</u> N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	$f_y :$	<u>275.00</u> N/mm ²

3) Viga (b) IPE 360

Comprobación de resistencia – Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	186.77	316.04	59.10
Ala	Compresión	kN	465.70	574.21	81.10
	Tracción	kN	94.00	282.73	33.25
Alma	Tracción	kN	186.77	229.17	81.50

- Chapa frontal**Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)**

Debe cumplirse:

$$186.77 \text{ kN} \square 316.04 \text{ kN} \checkmark$$

Donde:

$$F_{T,Ed}: \text{ Fuerza de tracción solicitante} \quad F_{T,Ed} : \underline{186.77} \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd}: \text{ Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente} \quad F_{T,Rd} : \underline{316.04} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : \underline{807.84} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : \underline{489.97} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : \underline{316.04} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en el grupo de filas: 3 y 4.

$$F_{T,Rd} : \underline{316.04} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{4.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{4.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\square F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos	$\square F_{t,Rd} : \underline{807.84} \text{ kN}$
t_f : Espesor de la chapa	$t_f : \underline{25.0} \text{ mm}$
m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela	$m : \underline{57} \text{ mm}$
n : Igual e_{min} pero $n \square 1,25 \cdot m$	$n : \underline{60} \text{ mm}$
$\square l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*	$\square l_{eff,1} : \underline{110} \text{ mm}$
$\square l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*	$\square l_{eff,2} : \underline{110} \text{ mm}$
f_y : Tensión de límite elástico.	$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
$\square M_0$: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	$\square M_0 : \underline{1.05}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\square l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$465.70 \text{ kN} \square 574.21 \text{ kN} \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{Ed} :$	$\underline{465.70} \text{ kN}$
------------	---------------------------------

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$N_{c,Rd} :$	$\underline{574.21} \text{ kN}$
--------------	---------------------------------

Donde:

A : Área sometida a compresión

$A :$	$\underline{2192} \text{ mm}^2$
-------	---------------------------------

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$f'_y :$	$\underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
----------	-------------------------------------

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y :$	$\underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
---------	-------------------------------------

γ : Factor de reducción	γ :	<u>0.000</u>
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{M0} :	<u>1.05</u>

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

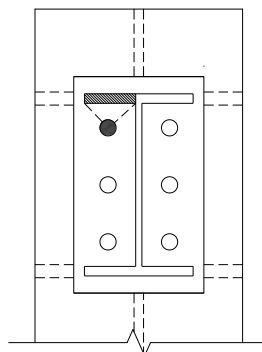
Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd} : Resistencia de cálculo.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{M0} :	<u>1.05</u>	

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1080	94.00	282.73	33.25
γ		94.00	282.73	33.25



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$186.77 \text{ kN} \leq 229.17 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \quad \underline{186.77} \quad \text{kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \quad \underline{229.17} \quad \text{kN}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \quad \underline{875.00} \quad \text{mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \quad \underline{261.90} \quad \text{N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \quad \underline{275.00} \quad \text{N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

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

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	γ_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	σ_{\parallel} (N/mm ²)	σ_{II} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	166.9	199.0	1.5	383.0	99.25	166.9	50.89	410.0	0.85
Soldadura del alma	188.2	188.2	34.9	381.3	98.82	188.3	57.39	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	136.9	163.2	0.2	314.1	81.40	148.8	45.37	410.0	0.85

Comprobación de resistencia – Tornillos

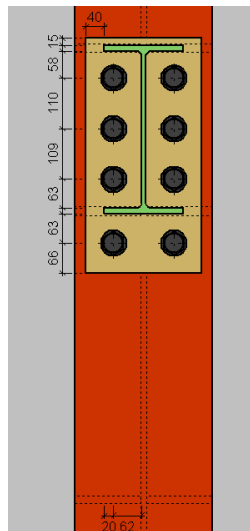
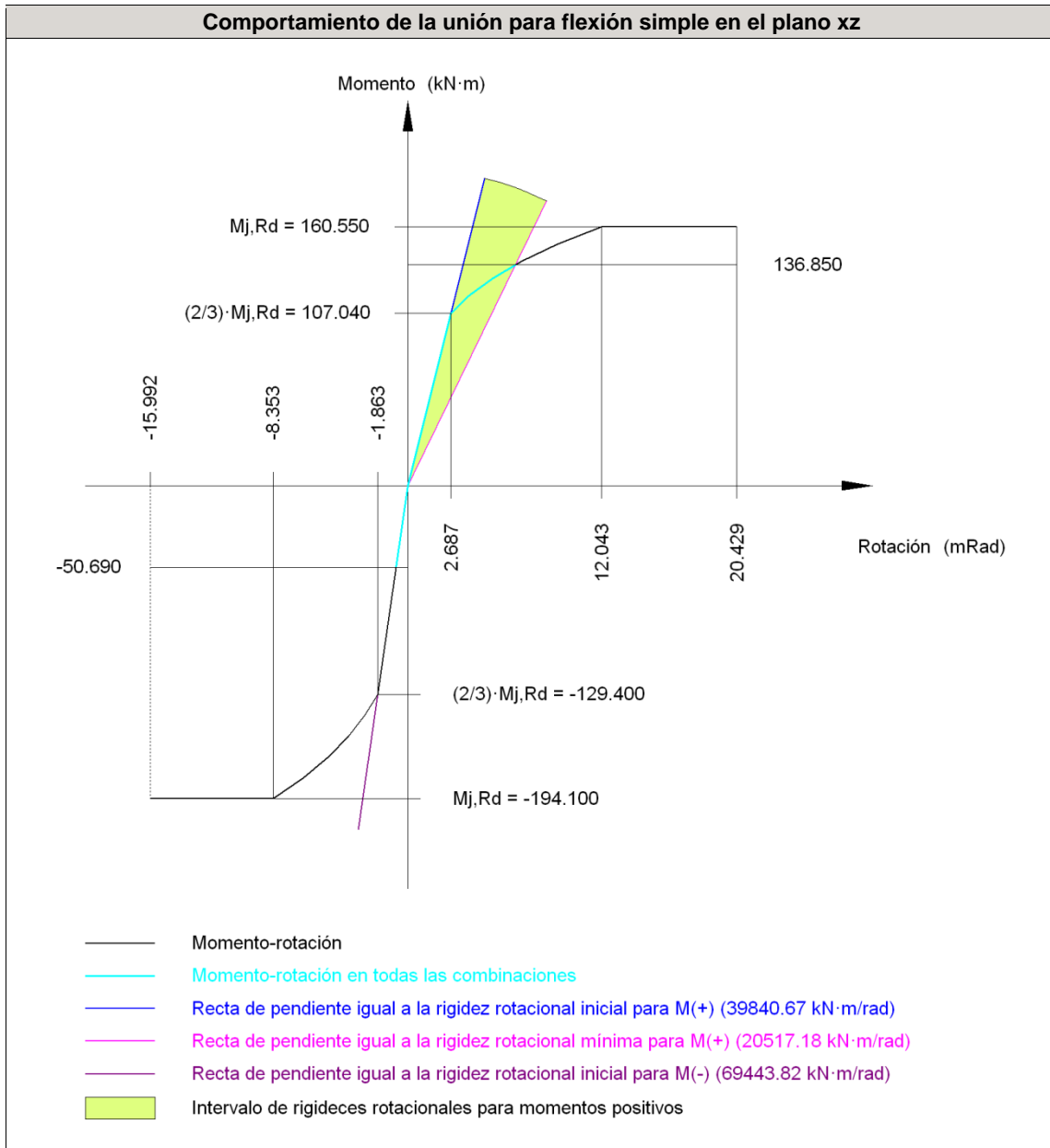


Fig.55. Disposición de tornillos viga (b) IPE 360.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	25.646	224.400	11.43	Vástago	65.455	403.920	16.20	13.43	16.20
	Aplastamiento	25.646	467.379	5.49	Punzonamiento	65.455	568.851	11.51		
2	Sección transversal	25.646	224.400	11.43	Vástago	65.726	403.920	16.27	13.47	16.27
	Aplastamiento	25.646	467.400	5.49	Punzonamiento	65.726	568.851	11.55		
3	Sección transversal	11.230	224.400	5.00	Vástago	34.125	403.920	8.45	7.89	8.45
	Aplastamiento	11.230	399.566	2.81	Punzonamiento	34.125	568.851	6.00		
4	Sección transversal	11.203	224.400	4.99	Vástago	34.141	403.920	8.45	7.89	8.45
	Aplastamiento	11.203	399.559	2.80	Punzonamiento	34.141	568.851	6.00		
5	Sección transversal	11.249	224.400	5.01	Vástago	153.965	403.920	38.12	32.02	38.12
	Aplastamiento	11.249	402.673	2.79	Punzonamiento	153.965	568.851	27.07		
6	Sección transversal	11.217	224.400	5.00	Vástago	153.700	403.920	38.05	31.96	38.05
	Aplastamiento	11.217	402.623	2.79	Punzonamiento	153.700	568.851	27.02		
7	Sección transversal	11.284	224.400	5.03	Vástago	237.138	403.920	58.71	46.74	58.71
	Aplastamiento	11.284	405.346	2.78	Punzonamiento	237.138	568.851	41.69		
8	Sección transversal	11.243	224.400	5.01	Vástago	236.175	403.920	58.47	46.56	58.47
	Aplastamiento	11.243	405.213	2.77	Punzonamiento	236.175	568.851	41.52		

Comprobación Rigidez rotacional

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	15426.85	39840.67
Calculada para momentos negativos	15426.85	69443.82



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	0.74	1.80	40.85
Momento resistente	kNm	136.85	160.55	85.24
Capacidad de rotación	Mm	19.00	20.59	92.26

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

0.74 1.80 ✓

: 0.74

Donde:

$$F_{T,Rd1}: \text{Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1} \quad F_{T,Rd1} : \underline{594.06 \text{ kN}}$$

$$F_{T,Rd3}: \text{Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3} \quad F_{T,Rd3} : \underline{807.84 \text{ kN}}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$136.85 \text{ kN}\cdot\text{m} \square 160.55 \text{ kN}\cdot\text{m} \checkmark$$

$$M_{Ed}: \text{Momento solicitante} \quad M_{Ed} : \underline{136.85 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{j,Rd}: \text{Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:} \quad M_{j,Rd} : \underline{160.55 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Capacidad de rotación de la chapa (CTE DB SE-A, 8.7)

Debe cumplirse:

$$19.0 \text{ mm} \square 20.6 \text{ mm} \checkmark$$

Donde:

$$t: \text{Espesor de la chapa} \quad t : \underline{19.0 \text{ mm}}$$

$$d: \text{Diámetro del tornillo.} \quad d : \underline{30 \text{ mm}}$$

$$f_{ub}: \text{Tensión última a tracción del tornillo.} \quad f_{ub} : \underline{1000 \text{ N/mm}^2}$$

$$f_y: \text{Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \underline{275.00 \text{ N/mm}^2}$$

4) Viga (c) IPE 270

Comprobación de resistencia - Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión – cortante	--	--	--	0.04
	Tensiones combinadas	--	--	--	5.97
	Pandeo local	N/mm ²	19.85	283.11	7.01

	Aplastamiento	kN	12.02	100.23	11.99
	Desgarro	kN	35.49	257.18	13.80
Alma	Aplastamiento	kN	12.02	56.13	21.41
	Desgarro	kN	35.49	226.27	15.69

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante de cálculo.} \quad V_{Ed} : \quad \underline{0.10 \text{ kN}} \quad \square \quad \underline{224.55 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

$$V_{c,Rd} : \text{Resistencia plástica de las secciones a cortante } V_{pl,Rd} \quad V_{c,Rd} : \quad \underline{224.55 \text{ kN}}$$

Donde:

$$A_v : \text{Área sometida a cortante} \quad A_v : \quad \underline{1485 \text{ mm}^2}$$

$$f_{yd} : \text{Resistencia de cálculo.} \quad f_{yd} : \quad \underline{261.90 \text{ N/mm}^2}$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} : \text{Valor de cálculo del momento flector.} \quad M_{Ed} : \quad \underline{0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}} \quad \square \quad \underline{21.88 \text{ kN}\cdot\text{m}} \quad \checkmark$$

$$M_{c,Rd} : \text{Resistencia de cálculo de la sección a flexión.} \quad M_{c,Rd} : \quad \underline{21.88 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

siendo

$$W_{pl} : \text{Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.} \quad W_{pl} : \quad \underline{83531.3 \text{ mm}^3}$$

$$f_{yd} : \text{Resistencia de cálculo.} \quad f_{yd} : \quad \underline{261.90 \text{ N/mm}^2}$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la

resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

siendo

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$$0.10 \text{ kN} \leq 112.27 \text{ kN}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , σ_{yz} y σ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$20.20 \text{ N/mm}^2 \leq 338.10 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal	σ : <u>20.19</u> N/mm ²
σ_{yz} : Tensión tangencial yz	σ_{yz} : <u>0.00</u> N/mm ²
σ_{xz} : Tensión tangencial xz	σ_{xz} : <u>-0.39</u> N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : <u>355.00</u> N/mm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$19.85 \text{ N/mm}^2 \leq 283.11 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.	$\sigma_{c,Ed}$: <u>19.85</u> N/mm ²
$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.	$\sigma_{b,Rd}$: <u>283.11</u> N/mm ²

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

Donde:

α : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado	α :	<u>0.84</u>
f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \alpha_{M1}$ con $\alpha_{M1} = 1.05$	f_{yd} :	<u>3.32</u> N/mm ²

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

siendo

	α :	<u>0.71</u>
α : Coeficiente de imperfección	α :	<u>0.49</u>
	$\alpha \alpha$:	<u>0.51</u>

Donde:

α : Coeficiente de pandeo	α :	<u>2.00</u>
L : Longitud hasta la primera columna de tornillos	L :	<u>45</u> Mm
t : Espesor de la chapa	t :	<u>8.0</u> Mm
E : Módulo de elasticidad	E :	<u>210000.00</u> N/mm ²

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$0.12 \alpha 1 \checkmark$$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza	f_u :	<u>470.00</u> N/mm ²
t : Espesor de la chapa	t :	<u>8.0</u> Mm
d : Diámetro del tornillo.	d :	<u>16</u> Mm
α_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	α_{M2} :	<u>1.25</u>
f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.	f_{ub} :	<u>800.00</u> N/mm ²

d_0 : Diámetro del agujero. d_0 : 18 Mm

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	12.01	100.27
z	0.50	27.0	--	-0.24	60.16

 α : coeficiente igual al menor de los valores: e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$35.49 \text{ kN} \leq 257.18 \text{ kN} \checkmark$$

Donde:

 N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \frac{35.49}{\text{ kN}}$$

 $N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \frac{257.18}{\text{ kN}}$$

siendo

 A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \frac{1368.00}{\text{ mm}^2}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{355.00}{\text{ N/mm}^2}$$

 f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \frac{470.00}{\text{ N/mm}^2}$$

 α_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\alpha_{M2} : \frac{1.25}{\text{}}$$

 α_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\alpha_{M0} : \frac{1.05}{\text{}}$$

- Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

0.21 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza	f_u :	$\frac{410.00}{1}$ N/mm ²
t : Espesor de la chapa	t :	$\frac{6.6}{1}$ Mm
d : Diámetro del tornillo.	d :	$\frac{16}{1}$ Mm
α_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	α_{M2} :	$\frac{1.25}{1}$
f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.	f_{ub} :	$\frac{800.00}{1}$ N/mm ²
d_0 : Diámetro del agujero.	d_0 :	$\frac{18}{1}$ Mm

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.65	35.0	--	12.01	56.12
z	1.00	245.7	85.5	-0.24	86.59

 α : coeficiente igual al menor de los valores: e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

35.49 kN 226.27 kN ✓

Donde:

 N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo N_{Ed} : $\frac{35.49}{1}$ kN $N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro $N_{ef,Rd}$: $\frac{226.27}{1}$ kN

siendo

 A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro A_n : $\frac{1496.00}{1}$ mm² f_y : Tensión de límite elástico. f_y : $\frac{275.00}{1}$ N/mm²

f_u : Tensión de rotura.

f_u : 410.00 N/mm²

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

γ_{M2} : 1.25

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	γ_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	σ_{\parallel} (N/mm ²)	σ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	11.2	11.2	0.3	22.3	5.78	11.2	3.40	410.0	0.85

Comprobación de resistencia – Tornillos

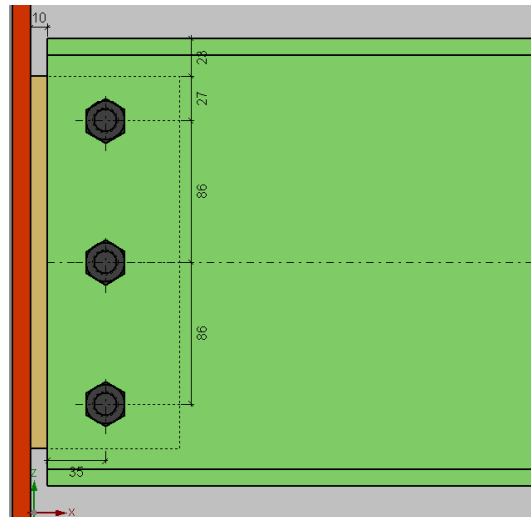


Fig.56. Disposición de tornillos viga (c) IPE 270.

Resistencia				
Tornillo	Cortante	Tracción	Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)

	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	12.017	50.240	23.92	Vástago	0.000	90.432	0.00	23.92	23.92
	Aplastamiento	12.017	100.232	11.99	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		
2	Sección transversal	11.831	50.240	23.55	Vástago	0.000	90.432	0.00	23.55	23.55
	Aplastamiento	11.831	100.273	11.80	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		
3	Sección transversal	11.756	50.240	23.40	Vástago	0.000	90.432	0.00	23.40	23.40
	Aplastamiento	11.756	100.284	11.72	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		

5) Viga (d) IPE 270

Comprobación de resistencia - Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión – cortante	--	--	--	0.04
	Tensiones combinadas	--	--	--	5.91
	Pandeo local	N/mm ²	18.71	283.11	6.61
	Aplastamiento	kN	11.89	100.23	11.86
	Desgarro	kN	35.11	257.18	13.65
Alma	Aplastamiento	kN	11.89	56.13	21.18
	Desgarro	kN	35.11	226.27	15.52

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

Donde:

A_v : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$0.10 \text{ kN} \square 224.55 \text{ kN} \checkmark$$

$$V_{Ed} : \quad \underline{0.10 \text{ kN}}$$

$$V_{c,Rd} : \quad \underline{224.55 \text{ kN}}$$

$$A_v : \quad \underline{1485 \text{ mm}^2}$$

$$f_{yd} : \quad \underline{261.90 \text{ N/mm}^2}$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 21.88 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \frac{0.01}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$$M_{c,Rd} : \frac{21.88}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

$$W_{pl} : \frac{83531.3}{\quad} \text{ mm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \frac{261.90}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

siendo

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$$0.10 \text{ kN} \leq 112.27 \text{ kN}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , σ_{yz} y σ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$19.99 \text{ N/mm}^2 \leq 338.10 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \frac{19.97}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

σ_{yz} : Tensión tangencial yz	$\sigma_{yz} : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$
σ_{xz} : Tensión tangencial xz	$\sigma_{xz} : \underline{-0.39} \text{ N/mm}^2$
f_y : Tensión de límite elástico.	$f_y : \underline{355.00} \text{ N/mm}^2$
σ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	$\sigma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$18.71 \text{ N/mm}^2 \leq 283.11 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión. $\sigma_{c,Ed} : \underline{18.71} \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido. $\sigma_{b,Rd} : \underline{283.11} \text{ N/mm}^2$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

Donde:

η : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado $\eta : \underline{0.84}$
 f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \sigma_{M1}$ con $\sigma_{M1} = 1.05$ $f_{yd} : \underline{3.32} \text{ N/mm}^2$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

siendo

$$\eta : \underline{0.71}$$

η : Coeficiente de imperfección $\eta : \underline{0.49}$

$$\eta \eta : \underline{0.51}$$

Donde:

η : Coeficiente de pandeo $\eta : \underline{2.00}$

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos $L : \underline{45} \text{ mm}$

t: Espesor de la chapa	t : $\frac{8.0}{}$ mm
E: Módulo de elasticidad	E : $\frac{210000.00}{}$ N/mm ²

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

0.12 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

siendo

f_u: resistencia a tracción del material de la pieza	f_u : $\frac{470.00}{}$ N/mm ²
t: Espesor de la chapa	t : $\frac{8.0}{}$ Mm
d: Diámetro del tornillo.	d : $\frac{16}{}$ Mm
<input type="checkbox"/> M₂: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	<input type="checkbox"/> M₂ : $\frac{1.25}{}$
f_{ub}: Tensión última a tracción del tornillo.	f_{ub} : $\frac{800.00}{}$ N/mm ²
d₀: Diámetro del agujero.	d₀ : $\frac{18}{}$ mm

Dirección	<input type="checkbox"/>	e ₁ (mm)	p ₁ (mm)	F _{v,Ed} (kN)	F _{b,Rd,i} (kN)
y	0.83	45.0	--	11.89	100.27
z	0.50	27.0	--	-0.24	60.16

: coeficiente igual al menor de los valores:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

35.11 kN 257.18 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \frac{35.11}{\quad} \text{ kN}$$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \frac{257.18}{\quad} \text{ kN}$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \frac{1368.00}{\quad} \text{ mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{355.00}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \frac{470.00}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \frac{1.25}{\quad}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{\quad}$$

- Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$0.21 \leq 1 \quad \checkmark$$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$$f_u : \frac{410.00}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \frac{6.6}{\quad} \text{ mm}$$

d : Diámetro del tornillo.

$$d : \frac{16}{\quad} \text{ mm}$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \frac{1.25}{\quad}$$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$$f_{ub} : \frac{800.00}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

d_0 : Diámetro del agujero.

$$d_0 : \frac{18}{\quad} \text{ mm}$$

Dirección	γ	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.65	35.0	--	11.89	56.12
z	1.00	245.7	85.5	-0.24	86.59

Dirección	\square	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
\square : coeficiente igual al menor de los valores:					
e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.					
p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.					

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$35.11 \text{ kN} \square 226.27 \text{ kN} \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \frac{35.11}{1} \text{ kN}$$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \frac{226.27}{1} \text{ kN}$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \frac{1496.00}{1} \text{ mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \frac{410.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

\square_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\square_{M2} : \frac{1.25}{1}$$

\square_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\square_{M0} : \frac{1.05}{1}$$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	σ _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	σ _⊥ (N/mm ²)	σ _∥ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	11.0	11.0	0.3	22.1	5.72	11.0	3.36	410.0	0.85

Comprobación de resistencia – Tornillos

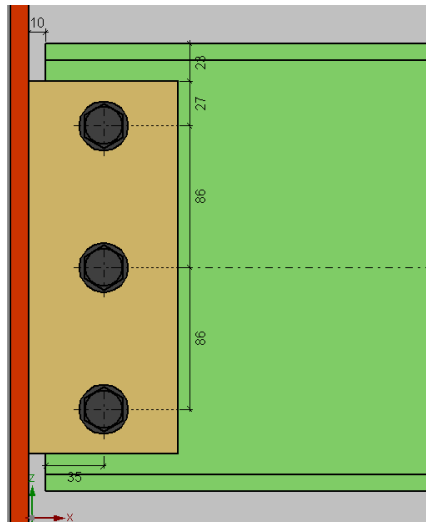


Fig.57. Disposición de tornillos viga (d) IPE 270.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	11.890	50.240	23.67	Vástago	0.000	90.432	0.00	23.67	23.67
	Aplastamiento	11.890	100.232	11.86	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		
2	Sección transversal	11.704	50.240	23.30	Vástago	0.000	90.432	0.00	23.30	23.30
	Aplastamiento	11.704	100.273	11.67	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		
3	Sección transversal	11.518	50.240	22.93	Vástago	0.000	90.432	0.00	22.93	22.93
	Aplastamiento	11.518	100.273	11.49	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		

- Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	3	2375
			4	2126
			5	3656
			6	2589
			7	2800
			10	4042
			11	200

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Chapas	1	202x569x11	9.92
		1	250x509x25	24.97
	Total			
S355	Rigidizadores	2	270x140x18	10.71
		2	270x140x18	10.69
		2	262x140x18	10.37
		2	468x94x18	12.55
	Chapas	2	90x225x8	2.54
		1	250x1203x20	47.22
	Total			

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	6	ISO 4017-M16x40
	Clase 10.9	22	ISO 4017-M30x90
Tuercas	Clase 8	6	ISO 4032-M16
	Clase 10	22	ISO 4032-M30
Arandelas	Dureza 200 HV	12	ISO 7089-16
	Dureza 300 HV	44	ISO 7089-30

3.5.5.8.3. Pilar izquierdo del pórtico hastial

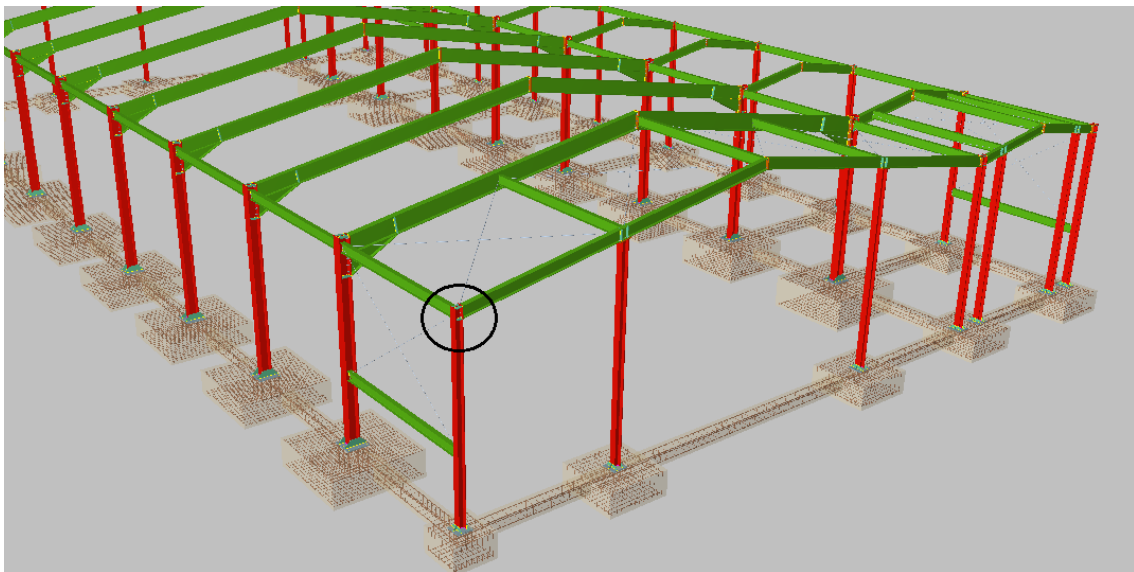


Fig.58. Ubicación de la unión 3.

La tercera unión que se ha desglosado pertenece a uno de los vértices de la nave en el que se unen la viga y el dintel en el pilar. Los cuatro vértices de la nave tienen el mismo tipo de unión pero con diferentes geometrías.

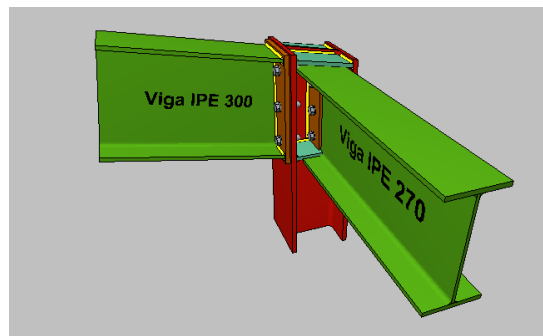
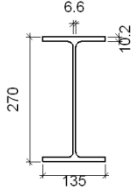
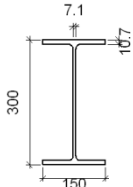
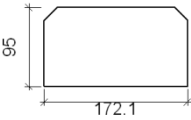
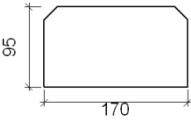
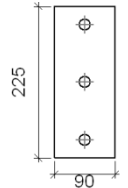
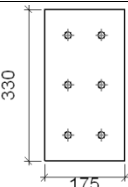


Fig.59. Unión 3 en 3D.

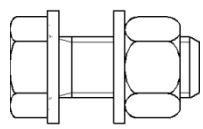
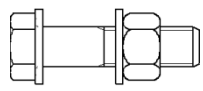
- Componentes de la unión

		Perfiles							
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 200 B		200	200	15	9	S275	275.0	410.0

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Viga	IPE 270		270	135	10.2	6.6	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 300		300	150	10.7	7.1	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Rigidizador		172.1	95	11	-	-	S275	275.0	410.0
Rigidizador		170	95	11	-	-	S275	275.0	410.0
Chapa lateral: Viga IPE 270		90	225	8	3	18	S275	275.0	410.0
Chapa frontal: Viga IPE 300		175	330	14	6	18	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_y (MPa)	f_u (MPa)

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_y (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M16x40-8.8 ISO 4032-M16-8 2 ISO 7089-16-200 HV		M16	40	8.8	640.0	800.0
ISO 4014-M16x65-8.8 ISO 4032-M16-8 2 ISO 7089-16-200 HV		M16	65	8.8	640.0	800.0

- Tipos de unión

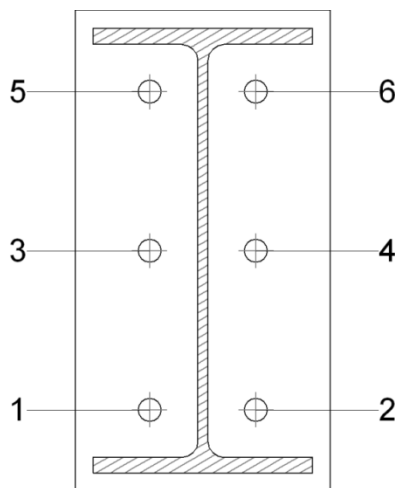
1) Viga (a) IPE 300 - Pilar HE 200 B

Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	5	150	10.7	80.03	
Soldadura del alma	En ángulo	4	261	7.1	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	5	150	10.7	80.03	

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Unión atornillada – Chapa frontal

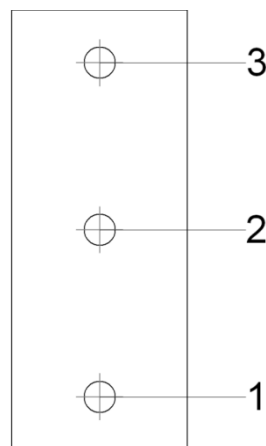


Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	109	32.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	109	32.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	109	32.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	109	32.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	109	32.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	51	--	73	109	32.0

--: La comprobación no procede.

2) Viga (b) IPE 270 – Pilar HE 200 B

Unión atornillada – Chapa lateral



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	86	27.0
2	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	--	--	86	45.0
3	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	86	27.0

--: La comprobación no procede.

Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	225	8.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

3) Rigidizadores – Pilar HE 200 B

Unión soldada

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	80	11.0	81.01
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	142	9.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	80	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	140	9.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	80	11.0	81.01
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	142	9.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	80	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	140	9.0	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

- Comprobación

1) Pilar HE 200 B

Comprobación de resistencia - Elementos

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltez	--	--	--	29.19	
	Cortante	kN	52.51	356.76	14.72	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	23.88	261.90	9.12	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	28.11	261.90	10.73	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	23.63	261.90	9.02	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	28.52	261.90	10.89	
Ala	Desgarro	N/mm ²	18.99	261.90	7.25	
	Cortante	N/mm ²	24.27	261.90	9.27	
Viga IPE 300	Ala	Tracción por flexión	kN	30.75	180.86	17.00
		Tracción	kN	6.66	235.89	2.82
	Alma	Tracción	kN	17.44	143.41	12.16
Viga IPE 270	Alma	Punzonamiento	kN	32.28	825.38	3.91
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	32.28	118.46	27.25

- Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$18.89 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \frac{170}{\quad} \text{ mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \frac{9.0}{\quad} \text{ mm}$$

$$e : \frac{0.92}{\quad}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$52.51 \text{ kN} \leq 356.76 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \frac{52.51}{\quad} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \frac{356.76}{\quad} \text{ kN}$$

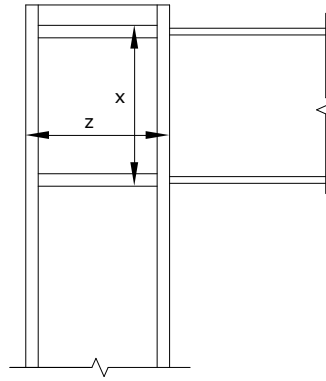
Donde:

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \frac{261.90}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	1800	34.66	244.96	14.15
x	2622	52.51	356.76	14.72



- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$23.88 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal **s :** 11.37 N/mm²

F_⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección **F_⊥ :** 10.00 kN

L_⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales **L_⊥ :** 80 mm

t: Tensión tangencial **t :** 12.12 N/mm²

F_{||}: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección **F_{||} :** 10.67 kN

L_{||}: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales **L_{||} :** 80 mm

t: Espesor **t :** 11.0 mm

f_y: Tensión de límite elástico. **f_y :** 275.00 N/mm²

g_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. **g_{Mo} :** 1.05

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

28.11 N/mm² £ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

s: Tensión normal **s :** -18.21 N/mm²

F_⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección **F_⊥ :** -14.12 kN
L_⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales **L_⊥ :** 71 mm
t: Tensión tangencial **t :** 12.36 N/mm²

F_∥: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección **F_∥ :** 10.88 kN
L_∥: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales **L_∥ :** 80 mm
t: Espesor **t :** 11.0 mm
f_y: Tensión de límite elástico. **f_y :** 275.00 N/mm²
g_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. **g_{Mo} :** 1.05

- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

23.63 N/mm² £ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

s: Tensión normal **s :** 10.82 N/mm²

F_⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección **F_⊥ :** 9.52 kN
L_⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales **L_⊥ :** 80 Mm
t: Tensión tangencial **t :** 12.12 N/mm²

F_∥: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección **F_∥ :** 10.67 kN
L_∥: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales **L_∥ :** 80 mm
t: Espesor **t :** 11.0 mm
f_y: Tensión de límite elástico. **f_y :** 275.00 N/mm²

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{Mo} : \underline{1.05}$$

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$28.52 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s : Tensión normal $s : \underline{-18.83} \text{ N/mm}^2$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección $F_{\perp} : \underline{-14.60} \text{ kN}$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales $L_{\perp} : \underline{71} \text{ mm}$

t : Tensión tangencial $t : \underline{12.36} \text{ N/mm}^2$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección $F_{\parallel} : \underline{10.88} \text{ kN}$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales $L_{\parallel} : \underline{80} \text{ Mm}$

t : Espesor $t : \underline{11.0} \text{ Mm}$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $g_{Mo} : \underline{1.05}$

- Comprobaciones por unión con elemento "

- Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$18.99 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s : Tensión normal $s : \underline{16.53} \text{ N/mm}^2$

t : Tensión tangencial $t : \underline{5.40} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{Mo} : \underline{1.05}$$

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$24.27 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

s : Tensión normal

$$s : \underline{13.23} \text{ N/mm}^2$$

t : Tensión tangencial

$$t : \underline{11.75} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{Mo} : \underline{1.05}$$

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga IPE 300'

- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$30.75 \text{ kN} \leq 180.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{30.75} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-arma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : \underline{221.88} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-arma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : \underline{370.26} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 0.

$$F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{1.85} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{2.73} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{15.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{20} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{25} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\sum l_{eff,1} : \underline{126} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\sum l_{eff,2} : \underline{185} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{Mo} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

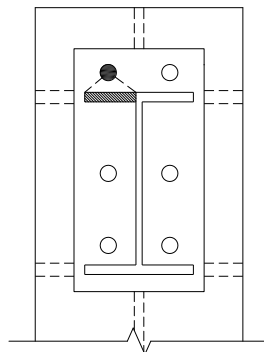
$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $g_{M0} : \underline{1.05}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	901	6.66	235.89	2.82
Inferior	--	--	--	--
å		6.66	235.89	2.82



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

17.44 kN £ 143.41 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{Ed} : \underline{17.44} \text{ kN}$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$N_{t,Rd} : \underline{143.41} \text{ kN}$

Donde:

A : Área sometida a tracción	A :	<u>548.00</u>	mm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga IPE 270'

- Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

32.28 kN ≤ 825.38 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo	N_{Ed} :	<u>32.28</u>	kN
N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$	N_{Rd} :	<u>825.38</u>	kN

Esfuerzo cortante

Donde:

A_v : Área sometida a cortante	A_v :	<u>4194</u>	mm ²
t : Espesor del elemento en la superficie de unión	t :	<u>9.0</u>	mm
t_p : Espesor del elemento de unión	t_p :	<u>8.0</u>	mm
h_p : Altura del elemento de unión	h_p :	<u>225</u>	mm
f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.	f_u :	<u>410.00</u>	N/mm ²
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	<u>1.25</u>	

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

32.28 kN £ 118.46 kN ✓ N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo N_{Ed} : 32.28 kN N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión N_{Rd} : 118.46 kN

Donde:

 t_w : Espesor del alma. t_w : 9.0 mm k_m : Coeficiente de interacción k_m : 1.00 m : 1.54 h_p : Altura del elemento de unión h_p : 225 mm h_{iw} : Canto del alma entre radios de acuerdo h_{iw} : 146 mm b : 0.05 t_p : Espesor del elemento de unión t_p : 8.0 mm W_{pl} : Modulo plástico resistente W_{pl} : 2278 mm³ l_{ch} : Longitud de la línea de charnela l_{ch} : 113 mm f_y : Tensión de límite elástico. f_y : 275.00 N/mm² g_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular. g_{M5} : 1.00

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_{\wedge} (N/mm ²)	t_{\wedge} (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_{\wedge} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	8.1	9.5	13.3	29.5	7.65	12.8	3.91	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	12.4	21.5	5.56	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	14.2	14.2	13.6	36.9	9.55	14.2	4.32	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	14.0	24.3	6.30	0.0	0.00	410.0	0.85

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_\wedge (N/mm ²)	t_\wedge (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_\wedge (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	7.7	9.1	13.3	29.0	7.51	12.7	3.88	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	12.3	21.3	5.53	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	14.6	14.6	13.6	37.6	9.74	14.7	4.47	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	14.1	24.5	6.34	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga (a) IPE 300

Comprobación de resistencia - Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	30.75	180.86	17.00
Ala	Compresión	kN	46.47	426.80	10.89
	Tracción	kN	8.05	210.18	3.83
Alma	Tracción	kN	14.66	142.18	10.31

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$30.75 \text{ kN} \leq 180.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$$F_{T,Ed}: \text{ Fuerza de tracción solicitante} \quad F_{T,Ed} : 30.75 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd}: \text{ Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente} \quad F_{T,Rd} : 180.86 \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : 180.86 \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : 184.62 \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : \underline{322.54} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 0.

$$F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{2.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{14.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{29} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{36} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\sum l_{eff,1} : \underline{182} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\sum l_{eff,2} : \underline{213} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

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

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$46.47 \text{ kN} \leq 426.80 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial. $N_{Ed} : \underline{46.47} \text{ kN}$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión. $N_{c,Rd} : \underline{426.80} \text{ kN}$

Donde:

A : Área sometida a compresión $A : \underline{1630} \text{ mm}^2$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida. $f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

r : Factor de reducción $r : \underline{0.000}$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $g_{M0} : \underline{1.05}$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

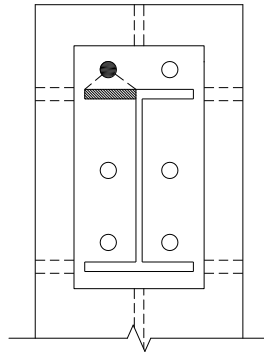
Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd} : Resistencia de cálculo.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	803	8.05	210.18	3.83
Inferior	--	--	--	--
å		8.05	210.18	3.83



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$14.66 \text{ kN} \leq 142.18 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

N_{Ed} :	<u>14.66</u>	kN
------------	--------------	----

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$N_{t,Rd}$:	<u>142.18</u>	kN
--------------	---------------	----

Donde:

A : Área sometida a tracción

A :	<u>543.00</u>	mm ²
-------	---------------	-----------------

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

f_{yd} :	<u>261.90</u>	N/mm ²
------------	---------------	-------------------

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
---------	---------------	-------------------

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

g_{M0} :

1.05

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_{\perp} (N/mm ²)	t_{\perp} (N/mm ²)	t_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	19.0	22.6	0.1	43.5	11.28	19.0	5.79	410.0	0.85
Soldadura del alma	21.4	21.4	2.9	43.2	11.19	21.4	6.53	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	23.3	19.5	10.2	44.7	11.58	23.3	7.09	410.0	0.85

Comprobación de resistencia – Tornillos

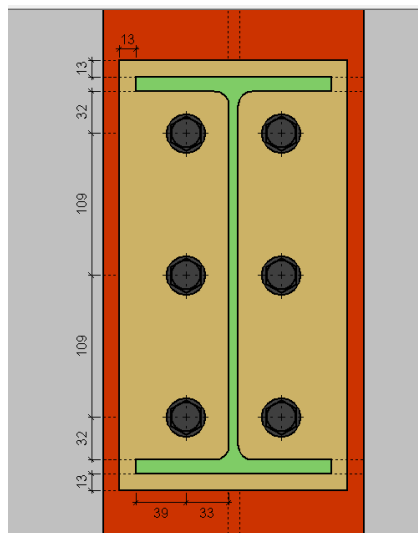


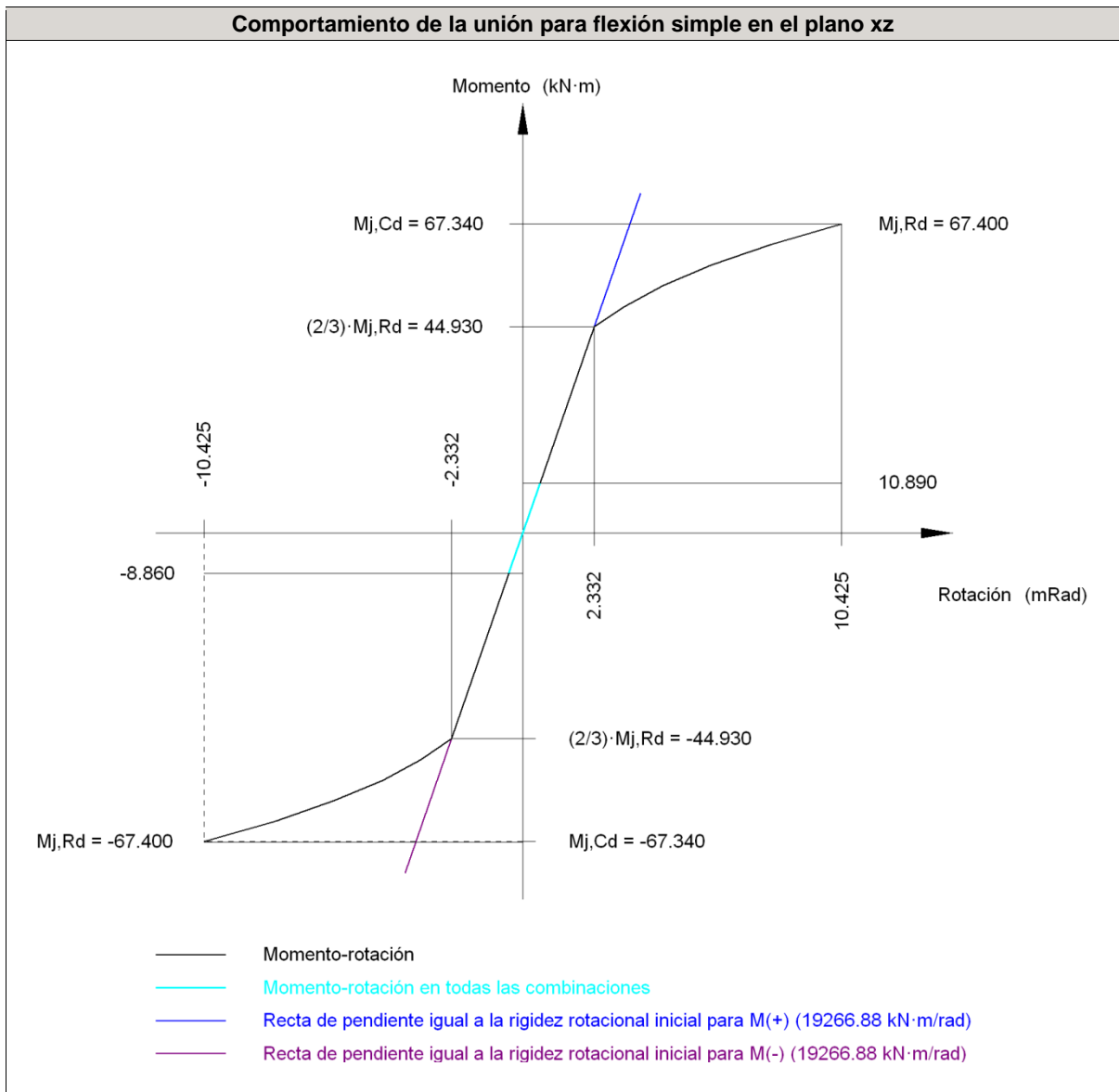
Fig.60. Disposición de tornillos viga (a) IPE 300.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	6.733	64.340	10.46	Vástago	15.322	90.432	16.94	19.47	19.47
	Aplastamiento	6.733	183.670	3.67	Punzonamiento	15.322	219.639	6.98		
2	Sección transversal	11.801	64.340	18.34	Vástago	15.377	90.432	17.00	19.53	19.53
	Aplastamiento	11.801	183.652	6.43	Punzonamiento	15.377	219.639	7.00		
3	Sección transversal	4.666	64.340	7.25	Vástago	10.412	90.432	11.51	15.48	15.48
	Aplastamiento	4.666	173.907	2.68	Punzonamiento	10.412	219.639	4.74		
4	Sección transversal	4.677	64.340	7.27	Vástago	10.482	90.432	11.59	15.55	15.55
	Aplastamiento	4.677	183.680	2.55	Punzonamiento	10.482	219.639	4.77		

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
5	Sección transversal	4.591	64.340	7.14	Vástago	14.953	90.432	16.54	14.91	16.54
	Aplastamiento	4.591	173.921	2.64	Punzonamiento	14.953	219.639	6.81		
6	Sección transversal	4.602	64.340	7.15	Vástago	14.953	90.432	16.54	14.92	16.54
	Aplastamiento	4.602	183.680	2.51	Punzonamiento	14.953	219.639	6.81		

Comprobación rigidez rotacional

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	9914.61	19266.88
Calculada para momentos negativos	9914.61	19266.88



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.78	1.80	99.07
Momento resistente	kNm	10.88	67.40	16.15
Capacidad de rotación	mRad	54.185	667	8.13

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3
(Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$1.78 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$b : \quad \underline{1.78}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \quad \underline{322.54 \text{ kN}}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \quad \underline{180.86 \text{ kN}}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$10.88 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 67.40 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \quad \underline{10.88 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \quad \underline{67.40 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$0.05 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

f_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$f_{Ed} : \quad \underline{0.56 \text{ mRad}}$$

f_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$f_{Cd} : \quad \underline{10.42 \text{ mRad}}$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{h}: & \text{ Distancia de la fila al centro de compresiones} & \mathbf{h} : & \underline{256} \text{ mm} \\
 \mathbf{b}: & \text{ Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y} & & \\
 & \text{ en modo 3} & \mathbf{b} : & \underline{1.78}
 \end{aligned}$$

3) Viga IPE 270

Comprobación de resistencia - Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.04
	Tensiones combinadas	--	--	--	7.16
	Pandeo local	N/mm ²	18.72	228.15	8.21
	Aplastamiento	kN	11.08	87.48	12.66
	Desgarro	kN	32.29	206.86	15.61
Alma	Aplastamiento	kN	11.08	86.59	12.79
	Desgarro	kN	32.29	226.27	14.27

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{0.10 \text{ kN} \leq 224.55 \text{ kN} \quad \checkmark} \\
 \mathbf{V_{Ed}}: & \text{ Esfuerzo cortante de cálculo.} & \mathbf{V_{Ed}} : & \underline{0.10} \text{ kN} \\
 \mathbf{V_{c,Rd}}: & \text{ Resistencia plástica de las secciones a} & & \\
 & \text{ cortante } V_{pl,Rd} & \mathbf{V_{c,Rd}} : & \underline{224.55} \text{ kN} \\
 \text{Donde:} & & &
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{A_v}: & \text{ Área sometida a cortante} & \mathbf{A_v} : & \underline{1485} \text{ mm}^2 \\
 \mathbf{f_{yd}}: & \text{ Resistencia de cálculo.} & \mathbf{f_{yd}} : & \underline{261.90} \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$\mathbf{0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 21.88 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark}$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector. $M_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión. $M_{c,Rd} : \underline{21.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$
 La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión. $W_{pl} : \underline{83531.3} \text{ mm}^3$
 f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

siendo

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

0.10 kN £ 112.27 kN

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde s , t_{yz} y t_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

18.76 N/mm² £ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

s : Tensión normal $s : \underline{-18.72} \text{ N/mm}^2$
 t_{yz} : Tensión tangencial yz $t_{yz} : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$
 t_{xz} : Tensión tangencial xz $t_{xz} : \underline{-0.66} \text{ N/mm}^2$
 f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
 g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $g_{Mo} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$18.72 \text{ N/mm}^2 \leq 228.15 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$s_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$$s_{c,Ed} : \quad \underline{18.72} \text{ N/mm}^2$$

$s_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$$s_{b,Rd} : \quad \underline{228.15} \text{ N/mm}^2$$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

Donde:

c : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

$$c : \quad \underline{0.87}$$

f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / g_{M1}$ con $g_{M1} = 1.05$

$$f_{yd} : \quad \underline{2.57} \text{ N/mm}^2$$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

siendo

$$j : \quad \underline{0.66}$$

a : Coeficiente de imperfección

$$a : \quad \underline{0.49}$$

$$\lambda : \quad \underline{0.45}$$

Donde:

b : Coeficiente de pandeo

$$b : \quad \underline{2.00}$$

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

$$L : \quad \underline{45} \text{ Mm}$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \quad \underline{8.0} \text{ Mm}$$

E : Módulo de elasticidad

$$E : \quad \underline{210000.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

0.13 £ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza	f_u :	<u>410.00</u> N/mm ²
t : Espesor de la chapa	t :	<u>8.0</u> Mm
d : Diámetro del tornillo.	d :	<u>16</u> Mm
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	<u>1.25</u>
f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.	f_{ub} :	<u>800.00</u> N/mm ²
d_0 : Diámetro del agujero.	d_0 :	<u>18</u> Mm

Dirección	a	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	-11.07	87.47
z	1.00	198.0	85.5	-0.40	104.96

a: coeficiente igual al menor de los valores:

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarró (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

32.29 kN £ 206.86 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

N_{Ed} : 32.29 kN

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarró

$N_{ef,Rd}$: 206.86 kN

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro	A_n :	$\frac{1368.00}{\text{mm}^2}$
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	$\frac{275.00}{\text{N/mm}^2}$
f_u : Tensión de rotura.	f_u :	$\frac{410.00}{\text{N/mm}^2}$
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	$\frac{1.25}{}$
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	$\frac{1.05}{}$

- Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

0.13 £ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza	f_u :	$\frac{410.00}{\text{N/mm}^2}$
t : Espesor de la chapa	t :	$\frac{6.6}{\text{Mm}}$
d : Diámetro del tornillo.	d :	$\frac{16}{\text{Mm}}$
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	$\frac{1.25}{}$
f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.	f_{ub} :	$\frac{800.00}{\text{N/mm}^2}$
d_0 : Diámetro del agujero.	d_0 :	$\frac{18}{\text{Mm}}$

Dirección	a	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	1.00	112.5	--	-11.07	86.59
z	1.00	74.7	--	-0.40	86.59

Dirección	a	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{V,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
a: coeficiente igual al menor de los valores:					
e ₁ : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.					
p ₁ : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.					

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$32.29 \text{ kN} \leq 226.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \frac{32.29}{1} \text{ kN}$$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \frac{226.27}{1} \text{ kN}$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \frac{1496.00}{1} \text{ mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \frac{410.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$g_{M2} : \frac{1.25}{1}$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{M0} : \frac{1.05}{1}$$

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s^\wedge (N/mm ²)	t^\wedge (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s^\wedge (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	10.5	10.5	0.5	21.0	5.45	10.5	3.20	410.0	0.85

Comprobación de resistencia – Tornillos

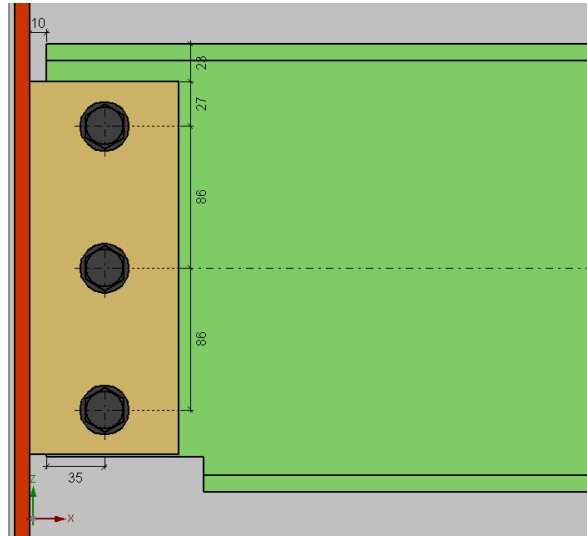


Fig.61. Disposición de tornillos viga (b) IPE 270.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	10.577	50.240	21.05	Vástago	0.000	90.432	0.00	21.05	21.05
	Aplastamiento	10.577	87.428	12.10	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		
2	Sección transversal	10.763	50.240	21.42	Vástago	0.000	90.432	0.00	21.42	21.42
	Aplastamiento	10.763	87.473	12.30	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		
3	Sección transversal	11.077	50.240	22.05	Vástago	0.000	90.432	0.00	22.05	22.05
	Aplastamiento	11.077	87.484	12.66	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		

- Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	4	1651
			5	2316

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	2	172x95x11	2.82
		2	170x95x11	2.79
	Chapas	1	90x225x8	1.27
		1	175x330x14	6.35
Total				13.23

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	6	ISO 4014-M16x65
		3	ISO 4017-M16x40
Tuercas	Clase 8	9	ISO 4032-M16
Arandelas	Dureza 200 HV	18	ISO 7089-16

3.5.5.8.4. Pilar izquierdo del segundo pórtico

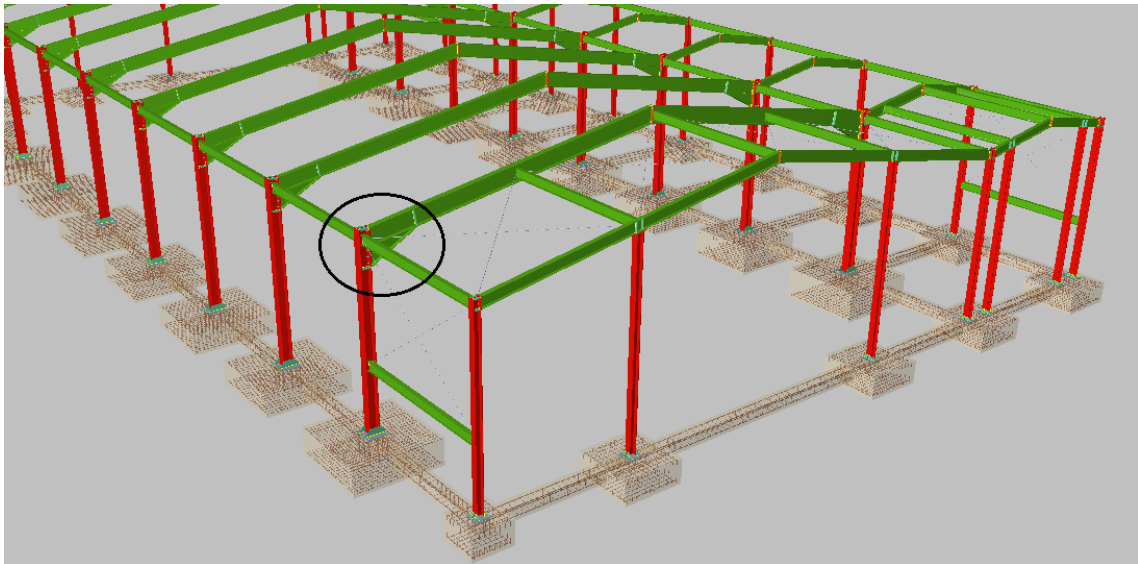


Fig.62. Ubicación unión 4.

A continuación se realiza el estudio de la unión 4, que está situada en el extremo izquierdo del segundo pórtico.

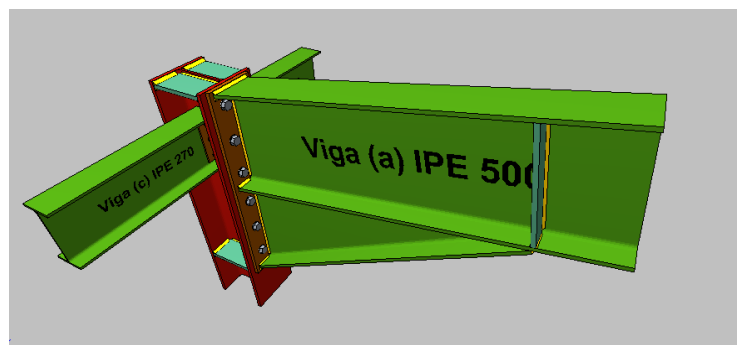
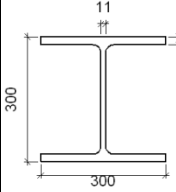
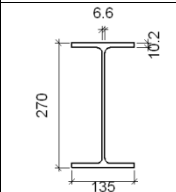
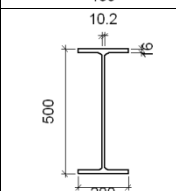
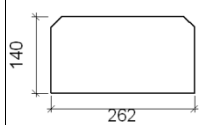
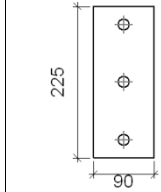
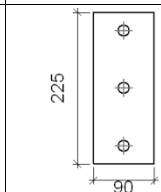
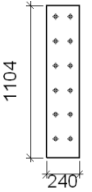
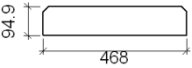


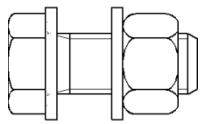
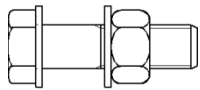
Fig.63. Unión 4 en 3D.

- Componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 300 B		300	300	19	11	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 270		270	135	10.2	6.6	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 500		500	200	16	10.2	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Rigidizador		262	140	18	-	-	S355	355.0	470.0
Chapa lateral: Viga (c) IPE 270		90	225	8	3	18	S275	275.0	410.0
Chapa lateral: Viga (b) IPE 270		90	225	8	3	18	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Chapa frontal: Viga (a) IPE 500		240	1104	20	12	30	S355	355.0	470.0
Rigidizador de refuerzo del extremo de la cartela		468	94.9	18	-	-	S355	355.0	470.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_y (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M16x40-8.8 ISO 4032-M16-8 2 ISO 7089-16-200 HV		M16	40	8.8	640.0	800.0
ISO 4014-M27x100-10.9 ISO 4032-M27-10 2 ISO 7089-27-300 HV		M27	100	10.9	900.0	1000.0

- Tipos de unión

- 1) Viga (a) IPE 500 - Pilar HE 300 B

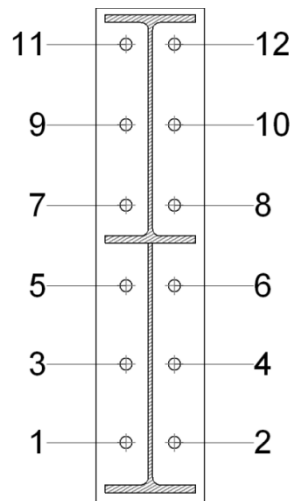
Unión soldada

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	10	200	16.0	80.03
Soldadura del alma	En ángulo	6	443	10.2	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	10	200	16.0	80.03
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	6	519	10.2	90.00

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	10	200	16.0	60.50
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	7	1400	10.2	90.00
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	11	200	16.0	70.47
Soldadura del rigidizador de refuerzo del extremo de la cartela a las alas	En ángulo	3	436	16.0	90.00
Soldadura del rigidizador de refuerzo del extremo de la cartela al alma	En ángulo	3	79	10.2	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Unión atornillada – Chapa frontal

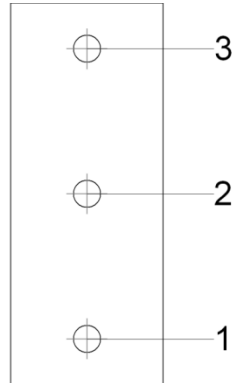


Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	174	48.0
2	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	174	48.0
3	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	174	48.0
4	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	174	48.0
5	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	174	48.0
6	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	174	48.0
7	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	179	48.0
8	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	179	48.0
9	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	179	48.0
10	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	179	48.0
11	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	179	48.0
12	ISO 4014-M27x100-10.9	30.0	67	--	107	179	48.0

--: La comprobación no procede.

2) Viga (b) IPE 270 - Pilar HE 300 B

Unión atornillada – Chapa lateral



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	86	27.0
2	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	--	--	86	45.0
3	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	86	27.0

--: La comprobación no procede.

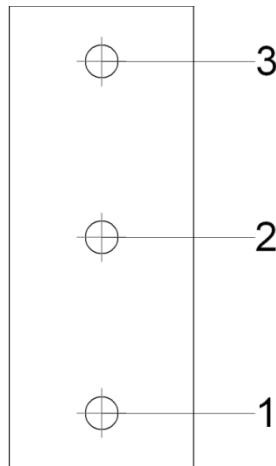
Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	225	8.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

3) Viga (c) IPE 270 - Pilar HE 300 B

Unión atornillada – Chapa lateral



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	86	27.0
2	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	--	--	86	45.0
3	ISO 4017-M16x40-8.8	18.0	35	27	--	86	27.0

--: La comprobación no procede.

Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	225	8.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

4) Rigidizadores – Pilar HE 300 B

Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	10	121	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	224	11.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	10	121	18.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	224	11.0	90.00	

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	10	121	18.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	224	11.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	10	121	18.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	224	11.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

- Comprobación

1) Pilar HE 300 B

Comprobación de resistencia – Elementos

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltez	--	--	--	36.81	
	Cortante	kN	1308.91	1593.46	82.14	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	83.75	261.90	31.98	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	97.46	261.90	37.21	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	84.04	261.90	32.09	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	97.19	261.90	37.11	
Ala	Desgarro	N/mm ²	140.10	261.90	53.49	
	Cortante	N/mm ²	234.39	261.90	89.49	
Viga (a) IPE 500	Ala	Tracción por flexión	kN	177.67	561.42	31.65
		Tracción	kN	41.21	724.21	5.69
	Alma	Tracción	kN	137.13	327.34	41.89
Viga (c) IPE 270	Alma	Punzonamiento	kN	32.28	1008.80	3.20
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	25.57	134.70	18.99
Viga (b) IPE 270	Alma	Punzonamiento	kN	30.89	1008.80	3.06
		Flexión por fuerza perpendicular	kN	23.02	134.70	17.09

- Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$23.82 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \underline{262} \text{ mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \underline{11.0} \text{ mm}$$

$$e : \underline{0.92}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$1308.91 \text{ kN} \leq 1593.46 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \underline{1308.91} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \underline{1593.46} \text{ kN}$$

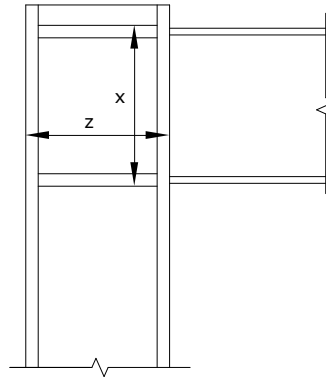
Donde:

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	3300	351.48	449.10	78.26
x	11709	1308.91	1593.46	82.14



- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$83.75 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal **s:** -83.75 N/mm²

F_⊥: Esfuerzo de cálculo normal de la sección **F_⊥:** -142.45 kN

L_⊥: Anchura efectiva para esfuerzos normales **L_⊥:** 95 Mm

t: Tensión tangencial **t:** 0.30 N/mm²

F_{||}: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección **F_{||}:** 0.65 kN

L_{||}: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales **L_{||}:** 121 Mm

t: Espesor **t:** 18.0 Mm

f_y: Tensión de límite elástico. **f_y:** 275.00 N/mm²

g_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. **g_{M0}:** 1.05

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$97.46 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

$$s: \text{ Tensión normal} \quad s : \quad \underline{97.46} \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\perp}: \text{ Esfuerzo de cálculo normal de la sección} \quad F_{\perp} : \quad \underline{200.87} \text{ kN}$$

$$L_{\perp}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos normales} \quad L_{\perp} : \quad \underline{115} \text{ Mm}$$

$$t: \text{ Tensión tangencial} \quad t : \quad \underline{0.11} \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\parallel}: \text{ Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección} \quad F_{\parallel} : \quad \underline{0.25} \text{ kN}$$

$$L_{\parallel}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales} \quad L_{\parallel} : \quad \underline{121} \text{ Mm}$$

$$t: \text{ Espesor} \quad t : \quad \underline{18.0} \text{ Mm}$$

$$f_y: \text{ Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \quad \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$g_{Mo}: \text{ Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.} \quad g_{Mo} : \quad \underline{1.05}$$

- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$84.04 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

$$s: \text{ Tensión normal} \quad s : \quad \underline{-84.04} \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\perp}: \text{ Esfuerzo de cálculo normal de la sección} \quad F_{\perp} : \quad \underline{-142.95} \text{ kN}$$

$$L_{\perp}: \text{ Anchura efectiva para esfuerzos normales} \quad L_{\perp} : \quad \underline{95} \text{ mm}$$

$$t: \text{ Tensión tangencial} \quad t : \quad \underline{0.30} \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\parallel}: \text{ Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección} \quad F_{\parallel} : \quad \underline{0.65} \text{ kN}$$

$L_{ }$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	$L_{ }$:	<u>121</u> mm
t: Espesor	t:	<u>18.0</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$97.19 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal	s:	<u>97.19</u> N/mm ²
-------------------	----	--------------------------------

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección	F_{\perp} :	<u>200.30</u> kN
L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales	L_{\perp} :	<u>115</u> mm
t: Tensión tangencial	t:	<u>0.11</u> N/mm ²

$F_{ }$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección	$F_{ }$:	<u>0.25</u> kN
$L_{ }$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	$L_{ }$:	<u>121</u> Mm
t: Espesor	t:	<u>18.0</u> Mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>

- Comprobaciones por unión con elemento "

- Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$140.10 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal	s : <u>140.09</u> N/mm ²
t: Tensión tangencial	t : <u>0.46</u> N/mm ²
f_y: Tensión de límite elástico.	f_y : <u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} : <u>1.05</u>

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$234.39 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal	s : <u>234.39</u> N/mm ²
t: Tensión tangencial	t : <u>0.07</u> N/mm ²
f_y: Tensión de límite elástico.	f_y : <u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} : <u>1.05</u>

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 500'

- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$177.67 \text{ kN} \leq 561.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante	F_{T,Ed} : <u>177.67</u> kN
F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente	F_{T,Rd} : <u>561.42</u> kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : \underline{660.96} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-arma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : \underline{561.42 \text{ kN}}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : \underline{594.06 \text{ kN}}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 6.

$$F_{T,Rd} : \underline{561.42 \text{ kN}}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{4.87 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{7.17 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \underline{660.96 \text{ kN}}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{19.0 \text{ mm}}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{33 \text{ mm}}$$

n : Igual e_{min} pero $n \geq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{41 \text{ Mm}}$$

$\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\sum l_{eff,1} : \underline{206 \text{ Mm}}$$

$\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\sum l_{eff,2} : \underline{303 \text{ Mm}}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00 \text{ N/mm}^2}$$

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{Mo} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

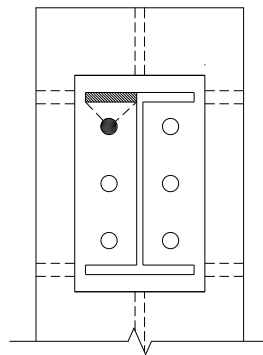
$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{338.10} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{355.00} \text{ N/mm}^2$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $g_{M0} : \underline{1.05}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	2142	41.21	724.21	5.69
å		41.21	724.21	5.69



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

137.13 kN £ 327.34 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.	N_{Ed} :	<u>137.13</u>	kN
$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.	$N_{t,Rd}$:	<u>327.34</u>	kN

Donde:

A : Área sometida a tracción	A :	<u>1250.00</u>	mm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (c) IPE 270'

- Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$32.28 \text{ kN} \leq 1008.80 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo	N_{Ed} :	<u>32.28</u>	kN
N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$	N_{Rd} :	<u>1008.80</u>	kN

Esfuerzo cortante

Donde:

A_v : Área sometida a cortante	A_v :	<u>5126</u>	mm ²
t : Espesor del elemento en la superficie de unión	t :	<u>11.0</u>	Mm
t_p : Espesor del elemento de unión	t_p :	<u>8.0</u>	Mm
h_p : Altura del elemento de unión	h_p :	<u>225</u>	Mm
f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.	f_u :	<u>410.00</u>	N/mm ²

g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$g_{M2} : \underline{1.25}$$

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$25.57 \text{ kN} \leq 134.70 \text{ kN} \quad \checkmark$$

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{25.57 \text{ kN}}$$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión

$$N_{Rd} : \underline{134.70 \text{ kN}}$$

Donde:

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{11.0 \text{ Mm}}$$

k_m : Coeficiente de interacción

$$k_m : \underline{1.00}$$

$$m : \underline{0.97}$$

h_p : Altura del elemento de unión

$$h_p : \underline{225 \text{ Mm}}$$

h_{iw} : Canto del alma entre radios de acuerdo

$$h_{iw} : \underline{232 \text{ Mm}}$$

$$b : \underline{0.03}$$

t_p : Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0 \text{ Mm}}$$

W_{pl} : Modulo plástico resistente

$$W_{pl} : \underline{3403 \text{ mm}^3}$$

l_{ch} : Longitud de la línea de charnela

$$l_{ch} : \underline{113 \text{ mm}}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00 \text{ N/mm}^2}$$

g_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.

$$g_{M5} : \underline{1.00}$$

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 270'

- Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

30.89 kN £ 1008.80 kN ✓

Donde:

 N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo N_{Ed} : 30.89 kN N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$ N_{Rd} : 1008.80 kN**Esfuerzo cortante**

Donde:

 A_v : Área sometida a cortante A_v : 5126 mm² t : Espesor del elemento en la superficie de unión t : 11.0 mm t_p : Espesor del elemento de unión t_p : 8.0 mm h_p : Altura del elemento de unión h_p : 225 mm f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión. f_u : 410.00 N/mm² g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión. g_{M2} : 1.25

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

23.02 kN £ 134.70 kN ✓ N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo N_{Ed} : 23.02 kN N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión N_{Rd} : 134.70 kN

Donde:

 t_w : Espesor del alma. t_w : 11.0 Mm k_m : Coeficiente de interacción k_m : 1.00

	m :	<u>0.97</u>
h_p : Altura del elemento de unión	h_p :	<u>225</u> Mm
h_{iw} : Canto del alma entre radios de acuerdo	h_{iw} :	<u>232</u> Mm
	b :	<u>0.03</u>
t_p : Espesor del elemento de unión	t_p :	<u>8.0</u> Mm
W_{pl} : Modulo plástico resistente	W_{pl} :	<u>3403</u> mm ³
I_{ch} : Longitud de la línea de charnela	I_{ch} :	<u>113</u> Mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.	g_{M5} :	<u>1.00</u>

Comprobación de resistencia – Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	b _w
	s [^] (N/mm ²)	t [^] (N/mm ²)	t (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s [^] (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	53.3	53.3	0.0	106.6	27.63	53.3	16.25	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	63.6	110.2	28.55	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	62.0	62.0	0.1	124.1	32.15	62.0	18.91	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	89.7	155.3	40.25	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	53.5	53.5	0.3	107.0	27.72	53.5	16.30	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	63.8	110.5	28.64	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	61.9	61.9	0.0	123.7	32.06	61.9	18.86	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	89.4	154.9	40.15	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga (a) IPE 500

Comprobación de resistencia – Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	177.67	573.98	30.95

Ala	Compresión	kN	424.99	962.93	44.13
	Tracción	kN	45.95	419.05	10.96
Alma	Tracción	kN	137.13	394.50	34.76
Rigidizadores	Cortante	kN	73.54	1644.36	4.47

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$177.67 \text{ kN} \leq 573.98 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$$F_{T,Ed}: \text{ Fuerza de tracción solicitante} \quad F_{T,Ed} : 177.67 \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd}: \text{ Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente} \quad F_{T,Rd} : 573.98 \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : 660.96 \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : 573.98 \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : 849.73 \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 6.

$$F_{T,Rd} : 573.98 \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : 9.06 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{9.92} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \underline{660.96} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{20.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{43} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{53} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\sum l_{eff,1} : \underline{268} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\sum l_{eff,2} : \underline{293} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{355.00} \text{ N/mm}^2$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

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

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

- A_{la}

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$424.99 \text{ kN} \leq 962.93 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{424.99} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{962.93} \text{ kN}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{3677} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
r : Factor de reducción	r :	<u>0.000</u>	
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

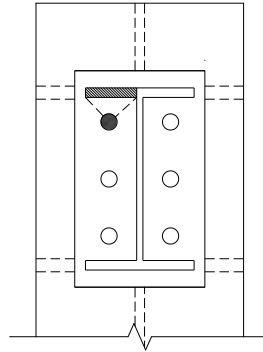
Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd} : Resistencia de cálculo.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1600	45.95	419.05	10.96
à		45.95	419.05	10.96

- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$137.13 \text{ kN} \leq 394.50 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \quad \underline{137.13} \quad \text{kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \quad \underline{394.50} \quad \text{kN}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \quad \underline{1506.00} \quad \text{mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \quad \underline{261.90} \quad \text{N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \quad \underline{275.00} \quad \text{N/mm}^2$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{M0} : \quad \underline{1.05}$$

- Rigidizadores

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$73.54 \text{ kN} \leq 1644.36 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \quad \underline{73.54} \quad \text{kN}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$V_{c,Rd} : \underline{1644.36 \text{ kN}}$

Donde:

A_v : Área sometida a cortante

$A_v : \underline{8424 \text{ mm}^2}$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$f_{yd} : \underline{338.10 \text{ N/mm}^2}$

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_\wedge (N/mm ²)	t_\wedge (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_\wedge (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	44.4	52.8	0.6	101.7	26.36	55.9	17.03	410.0	0.85
Soldadura del alma	53.9	53.9	18.1	112.4	29.12	53.9	16.45	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	28.1	23.6	0.3	49.6	12.86	28.1	8.58	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	57.9	57.9	18.1	120.0	31.08	57.9	17.65	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	44.5	76.3	0.1	139.5	36.16	72.7	22.16	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	13.0	22.6	5.85	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura del rigidizador de refuerzo del extremo de la cartela a las alas	19.9	19.9	0.0	39.8	10.30	19.9	6.06	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador de refuerzo del extremo de la cartela al alma	0.0	0.0	155.4	269.1	69.73	0.0	0.00	410.0	0.85

Comprobación de resistencia - Tornillos

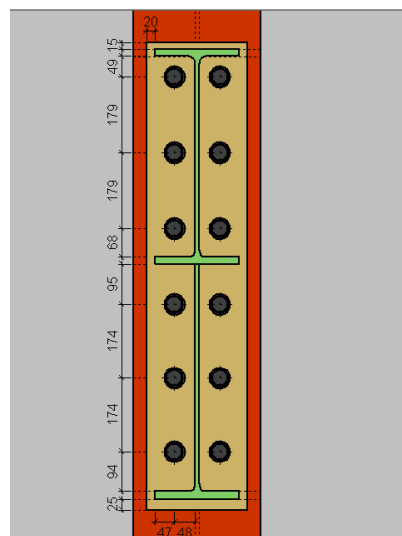
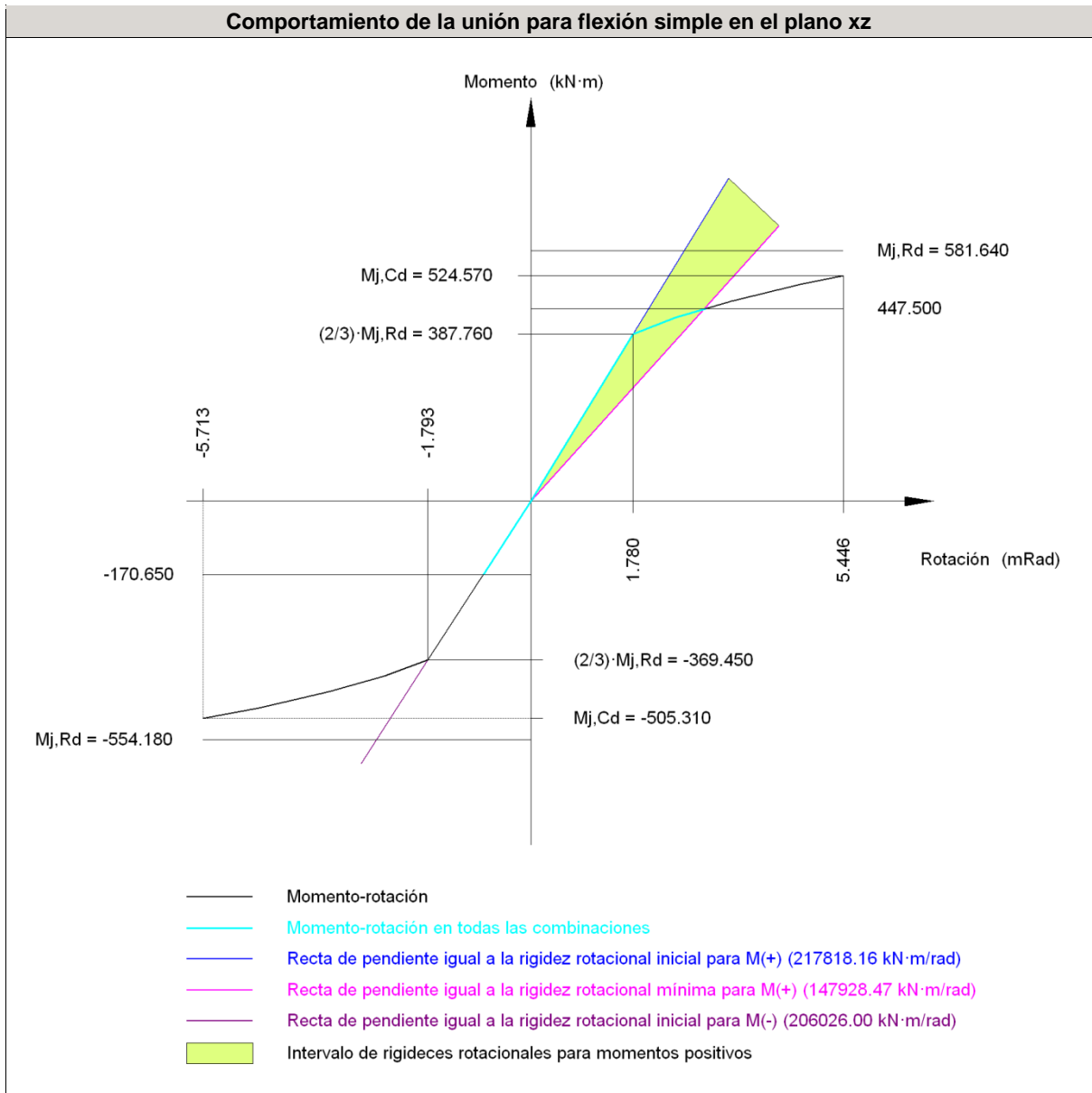


Fig.64. Disposición de tornillos viga (a) IPE 500.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	104.222	229.022	45.51	Vástago	60.714	330.480	18.37	45.51	45.51
	Aplastamiento	104.222	420.660	24.78	Punzonamiento	60.714	506.298	11.99		
2	Sección transversal	104.222	229.022	45.51	Vástago	60.738	330.480	18.38	45.51	45.51
	Aplastamiento	104.222	420.660	24.78	Punzonamiento	60.738	506.298	12.00		
3	Sección transversal	17.442	229.022	7.62	Vástago	52.436	330.480	15.87	11.33	15.87
	Aplastamiento	17.442	420.658	4.15	Punzonamiento	52.436	506.298	10.36		
4	Sección transversal	17.464	229.022	7.63	Vástago	52.462	330.480	15.87	11.34	15.87
	Aplastamiento	17.464	420.660	4.15	Punzonamiento	52.462	506.298	10.36		
5	Sección transversal	17.442	229.022	7.62	Vástago	38.321	330.480	11.60	15.90	15.90
	Aplastamiento	17.442	420.655	4.15	Punzonamiento	38.321	506.298	7.57		
6	Sección transversal	17.464	229.022	7.63	Vástago	38.426	330.480	11.63	15.93	15.93
	Aplastamiento	17.464	420.659	4.15	Punzonamiento	38.426	506.298	7.59		
7	Sección transversal	17.442	229.022	7.62	Vástago	66.113	330.480	20.01	21.91	21.91
	Aplastamiento	17.442	420.651	4.15	Punzonamiento	66.113	506.298	13.06		
8	Sección transversal	17.464	229.022	7.63	Vástago	66.218	330.480	20.04	21.94	21.94
	Aplastamiento	17.464	420.658	4.15	Punzonamiento	66.218	506.298	13.08		
9	Sección transversal	17.442	229.022	7.62	Vástago	93.905	330.480	28.41	27.91	28.41
	Aplastamiento	17.442	420.644	4.15	Punzonamiento	93.905	506.298	18.55		
10	Sección transversal	17.464	229.022	7.63	Vástago	94.010	330.480	28.45	27.94	28.45
	Aplastamiento	17.464	420.657	4.15	Punzonamiento	94.010	506.298	18.57		
11	Sección transversal	40.327	229.022	17.61	Vástago	104.496	330.480	31.62	30.20	31.62
	Aplastamiento	40.327	420.660	9.59	Punzonamiento	104.496	506.298	20.64		
12	Sección transversal	40.327	229.022	17.61	Vástago	104.586	330.480	31.65	30.23	31.65
	Aplastamiento	40.327	420.660	9.59	Punzonamiento	104.586	506.298	20.66		

Comprobación de rigidez rotacional

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	23444.84	217818.16
Calculada para momentos negativos	23444.84	206026.00



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	0.90	1.80	49.93
Momento resistente	kNm	447.50	581.64	76.94
Capacidad de rotación	mm	19.00	18.54	102.51

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

0.90 ≤ 1.80 ✓

b : 0.90

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 $F_{T,Rd1} : 594.06 \text{ kN}$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3 $F_{T,Rd3} : 660.96 \text{ kN}$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

447.50 kN·m £ 581.64 kN·m ✓

M_{Ed} : Momento solicitante $M_{Ed} : 447.50 \text{ kN·m}$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por: $M_{j,Rd} : 581.64 \text{ kN·m}$

Capacidad de rotación de la chapa (CTE DB SE-A, 8.7)

Debe cumplirse:

19.0 mm £ 18.5 mm ✓

Donde:

t : Espesor de la chapa $t : 19.0 \text{ Mm}$

d : Diámetro del tornillo. $d : 27 \text{ Mm}$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo. $f_{ub} : 1000 \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : 275.00 \text{ N/mm}^2$

3) Viga (c) IPE 270

Comprobación de resistencia – Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.04
	Tensiones combinadas	--	--	--	7.16
	Pandeo local	N/mm ²	18.72	228.15	8.21

	Aplastamiento	kN	11.08	87.48	12.66
	Desgarro	kN	32.29	206.86	15.61
Alma	Aplastamiento	kN	10.13	56.15	18.04
	Desgarro	kN	32.29	226.27	14.27

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante de cálculo.} \quad V_{Ed} : \quad \underline{0.10 \text{ kN}} \quad \text{£ } \underline{224.55 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

$$V_{c,Rd} : \text{Resistencia plástica de las secciones a cortante } V_{pl,Rd} \quad V_{c,Rd} : \quad \underline{224.55 \text{ kN}}$$

Donde:

$$A_v : \text{Área sometida a cortante} \quad A_v : \quad \underline{1485 \text{ mm}^2}$$

$$f_{yd} : \text{Resistencia de cálculo.} \quad f_{yd} : \quad \underline{261.90 \text{ N/mm}^2}$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} : \text{Valor de cálculo del momento flector.} \quad M_{Ed} : \quad \underline{0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}} \quad \text{£ } \underline{21.88 \text{ kN}\cdot\text{m}} \quad \checkmark$$

$$M_{c,Rd} : \text{Resistencia de cálculo de la sección a flexión.} \quad M_{c,Rd} : \quad \underline{21.88 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

siendo

$$W_{pl} : \text{Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.} \quad W_{pl} : \quad \underline{83531.3 \text{ mm}^3}$$

$$f_{yd} : \text{Resistencia de cálculo.} \quad f_{yd} : \quad \underline{261.90 \text{ N/mm}^2}$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la

resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

siendo

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

0.10 kN £ 112.27 kN

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde s , t_{yz} y t_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

18.76 N/mm² £ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

s : Tensión normal	s : <u>-18.72</u> N/mm ²
t_{yz} : Tensión tangencial yz	t_{yz} : <u>0.00</u> N/mm ²
t_{xz} : Tensión tangencial xz	t_{xz} : <u>-0.66</u> N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : <u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} : <u>1.05</u>

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

18.72 N/mm² £ 228.15 N/mm² ✓

Donde:

s_{c,Ed} : Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.	s_{c,Ed} : <u>18.72</u> N/mm ²
s_{b,Rd} : Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.	s_{b,Rd} : <u>228.15</u> N/mm ²

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

Donde:

c : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado	c :	<u>0.87</u>
f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / g_{M1}$ con $g_{M1} = 1.05$	f_{yd} :	<u>2.57</u> N/mm ²

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

siendo

	j :	<u>0.66</u>
a : Coeficiente de imperfección	a :	<u>0.49</u>
	λ :	<u>0.45</u>

Donde:

b : Coeficiente de pandeo	b :	<u>2.00</u>
L : Longitud hasta la primera columna de tornillos	L :	<u>45</u> mm
t : Espesor de la chapa	t :	<u>8.0</u> mm
E : Módulo de elasticidad	E :	<u>210000.00</u> N/mm ²

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

0.13 £ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza	f_u :	<u>410.00</u> N/mm ²
t : Espesor de la chapa	t :	<u>8.0</u> mm
d : Diámetro del tornillo.	d :	<u>16</u> mm
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	<u>1.25</u>
f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.	f_{ub} :	<u>800.00</u> N/mm ²

d_0 : Diámetro del agujero. d_0 : 18 mm

Dirección	a	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	-11.07	87.47
z	1.00	198.0	85.5	-0.40	104.96

a: coeficiente igual al menor de los valores:

 e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

32.29 kN \leq 206.86 kN ✓

Donde:

 N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo N_{Ed} : 32.29 kN $N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro $N_{ef,Rd}$: 206.86 kN

siendo

 A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro A_n : 1368.00 mm² f_y : Tensión de límite elástico. f_y : 275.00 N/mm² f_u : Tensión de rotura. f_u : 410.00 N/mm² g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión. g_{M2} : 1.25 g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. g_{M0} : 1.05

- Alma**Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)**

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

0.18 £ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza	f_u :	$\frac{410.00}{\text{mm}^2}$ N/mm ²
t : Espesor de la chapa	t :	$\frac{6.6}{\text{mm}}$ mm
d : Diámetro del tornillo.	d :	$\frac{16}{\text{mm}}$ mm
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	$\frac{1.25}{\text{mm}^2}$
f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.	f_{ub} :	$\frac{800.00}{\text{mm}^2}$ N/mm ²
d_0 : Diámetro del agujero.	d_0 :	$\frac{18}{\text{mm}}$ mm

Dirección	a	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.65	35.0	--	10.12	56.12
z	1.00	245.7	85.5	-0.40	86.59

a: coeficiente igual al menor de los valores:

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

32.29 kN £ 226.27 kN ✓

Donde:

 N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo N_{Ed} : $\frac{32.29}{\text{kN}}$ kN $N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro $N_{ef,Rd}$: $\frac{226.27}{\text{kN}}$ kN

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro	A_n :	<u>1496.00</u> mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
f_u : Tensión de rotura.	f_u :	<u>410.00</u> N/mm ²
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	<u>1.25</u>
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_\wedge (N/mm ²)	t_\wedge (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_\wedge (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	10.1	10.1	0.5	20.3	5.26	10.1	3.09	410.0	0.85

Comprobación de resistencia – Tornillos

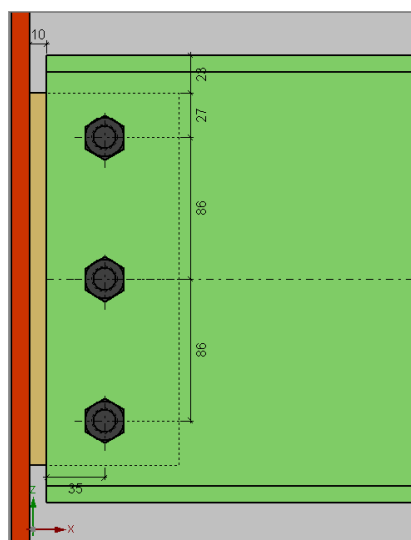


Fig.65. Disposición de tornillos viga (c) IPE 270.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	10.577	50.240	21.05	Vástago	0.000	90.432	0.00	21.05	21.05
	Aplastamiento	10.577	87.428	12.10	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		
2	Sección transversal	10.763	50.240	21.42	Vástago	0.000	90.432	0.00	21.42	21.42
	Aplastamiento	10.763	87.473	12.30	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		
3	Sección transversal	11.077	50.240	22.05	Vástago	0.000	90.432	0.00	22.05	22.05
	Aplastamiento	11.077	87.484	12.66	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		

4) Viga (b) IPE 270

Comprobación de resistencia – Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interacción flexión - cortante	--	--	--	0.04
	Tensiones combinadas	--	--	--	6.83
	Pandeo local	N/mm ²	17.84	228.15	7.82
	Aplastamiento	kN	10.55	87.49	12.06
	Desgarro	kN	30.90	206.86	14.94
Alma	Aplastamiento	kN	10.41	56.15	18.54
	Desgarro	kN	30.90	226.27	13.65

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$0.10 \text{ kN} \ll 224.55 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \quad \underline{0.10} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \quad \underline{224.55} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \quad \underline{1485} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \quad \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 21.88 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \frac{0.01}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$$M_{c,Rd} : \frac{21.88}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

$$W_{pl} : \frac{83531.3}{\quad} \text{ mm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \frac{261.90}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

siendo

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$$0.10 \text{ kN} \leq 112.27 \text{ kN}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde s , t_{yz} y t_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$17.88 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

s : Tensión normal

$$s : \frac{-17.84}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

t_{yz} : Tensión tangencial yz

$$t_{yz} : \frac{0.00}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

t_{xz} : Tensión tangencial xz	$t_{xz} : \underline{-0.66} \text{ N/mm}^2$
f_y : Tensión de límite elástico.	$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	$g_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$17.84 \text{ N/mm}^2 \leq 228.15 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

$s_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$$s_{c,Ed} : \underline{17.84} \text{ N/mm}^2$$

$s_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$$s_{b,Rd} : \underline{228.15} \text{ N/mm}^2$$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

Donde:

c : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

$$c : \underline{0.87}$$

f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / g_{M1}$ con $g_{M1} = 1.05$

$$f_{yd} : \underline{2.57} \text{ N/mm}^2$$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

siendo

$$j : \underline{0.66}$$

a : Coeficiente de imperfección

$$a : \underline{0.49}$$

$$\lambda : \underline{0.45}$$

Donde:

b : Coeficiente de pandeo

$$b : \underline{2.00}$$

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

$$L : \underline{45} \text{ mm}$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

E : Módulo de elasticidad

$$E : \underline{210000.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

0.12 £ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza	f_u :	<u>410.00</u> N/mm ²
t : Espesor de la chapa	t :	<u>8.0</u> Mm
d : Diámetro del tornillo.	d :	<u>16</u> Mm
g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	g_{M2} :	<u>1.25</u>
f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.	f_{ub} :	<u>800.00</u> N/mm ²
d_0 : Diámetro del agujero.	d_0 :	<u>18</u> Mm

Dirección	a	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	-10.54	87.47
z	1.00	198.0	85.5	-0.40	104.96

a: coeficiente igual al menor de los valores:

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

30.90 kN £ 206.86 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

N_{Ed} : 30.90 kN

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \underline{206.86 \text{ kN}}$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \underline{1368.00 \text{ mm}^2}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00 \text{ N/mm}^2}$$

f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \underline{410.00 \text{ N/mm}^2}$$

g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$g_{M2} : \underline{1.25}$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

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

- Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$0.19 \leq 1 \quad \checkmark$$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$$f_u : \underline{410.00 \text{ N/mm}^2}$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{6.6 \text{ mm}}$$

d : Diámetro del tornillo.

$$d : \underline{16 \text{ mm}}$$

g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$g_{M2} : \underline{1.25}$$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$$f_{ub} : \underline{800.00 \text{ N/mm}^2}$$

d_0 : Diámetro del agujero.

$$d_0 : \underline{18 \text{ mm}}$$

Dirección	a	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.65	35.0	--	10.40	56.12
z	1.00	245.7	85.5	-0.40	86.59

Dirección	a	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
a: coeficiente igual al menor de los valores:					
e ₁ : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.					
p ₁ : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.					

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$30.90 \text{ kN} \leq 226.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \frac{30.90}{1} \text{ kN}$$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \frac{226.27}{1} \text{ kN}$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \frac{1496.00}{1} \text{ mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \frac{410.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

g_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$g_{M2} : \frac{1.25}{1}$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{M0} : \frac{1.05}{1}$$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Comprobación de resistencia - Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_{\perp} (N/mm ²)	t_{\perp} (N/mm ²)	t_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_\wedge (N/mm ²)	t_\wedge (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_\wedge (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	9.7	9.7	0.3	19.4	5.03	9.7	2.96	410.0	0.85

Comprobación de resistencia – Tornillos

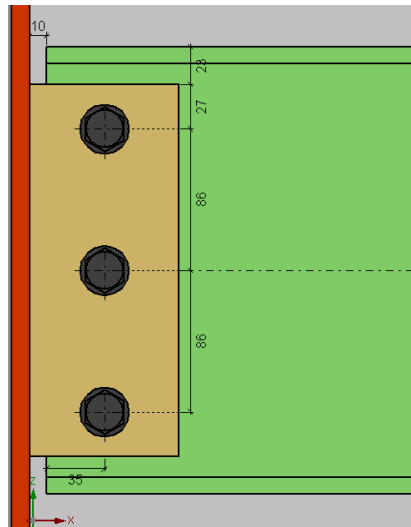


Fig.66. Disposición de tornillos viga (b) IPE 270.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	10.409	50.240	20.72	Vástago	0.000	90.432	0.00	20.72	20.72
	Aplastamiento	10.409	87.353	11.92	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		
2	Sección transversal	10.299	50.240	20.50	Vástago	0.000	90.432	0.00	20.50	20.50
	Aplastamiento	10.299	87.474	11.77	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		
3	Sección transversal	10.547	50.240	20.99	Vástago	0.000	90.432	0.00	20.99	20.99
	Aplastamiento	10.547	87.486	12.06	Punzonamiento	0.000	103.544	0.00		

- Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	3	2375
			5	2692
			6	1924
			7	2800
			10	3074
			11	200

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Chapas	2	90x225x8	2.54
	Total			2.54
S355	Rigidizadores	4	262x140x18	20.73
		2	468x94x18	12.55
	Chapas	1	240x1104x20	41.60
	Total			74.88

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	6	ISO 4017-M16x40
	Clase 10.9	12	ISO 4014-M27x100
Tuercas	Clase 8	6	ISO 4032-M16
	Clase 10	12	ISO 4032-M27
Arandelas	Dureza 200 HV	12	ISO 7089-16
	Dureza 300 HV	24	ISO 7089-27

3.5.5.8.5. Pilarillo

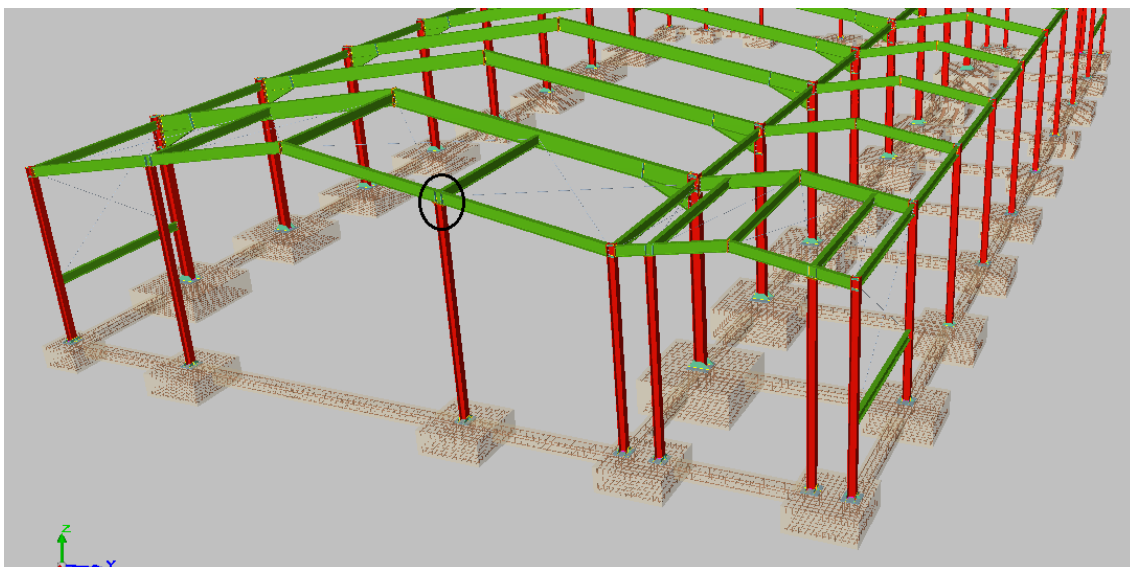


Fig.67. Ubicación unión 5.

La unión mostrada a continuación es la formada por el pilarillo hastial y el dintel del pórtico hastial. Todos los pilarillos dispuestos en la nave forman una unión análoga a esta.

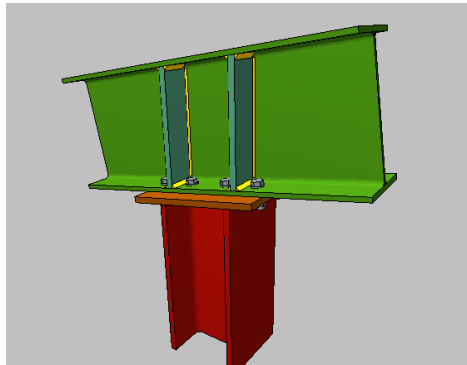
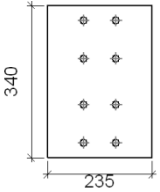


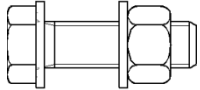
Fig.68. Unión 5 en 3D.

- Componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Viga	IPE 300		300	150	10.7	7.1	S275	275.0	410.0
Pilar	HE 200 B		200	200	15	9	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Rigidizador		282.9	70	15	-	-	S275	275.0	410.0

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Chapa frontal: Pilar HE 200 B		235	340	15	8	18	S275	275.0	410.0

Elementos de tornillería						
Descripción	Geometría			Acero		
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	Clase	f_y (MPa)	f_u (MPa)
ISO 4017-M16x55-8.8 ISO 4032-M16-8 2 ISO 7089-16-200 HV		M16	55	8.8	640.0	800.0

- Tipos de unión

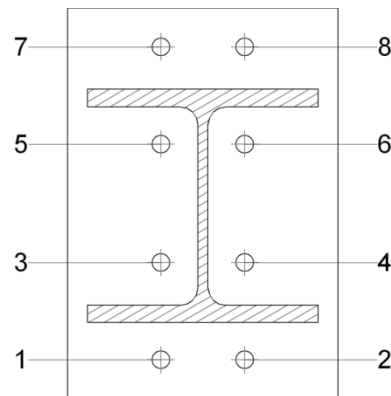
1) Viga IPE 300 – Pilar HE 200 B

Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	A (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	200	15.0	80.03	
Soldadura del alma	En ángulo	5	142	9.0	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	200	15.0	80.03	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Unión atornillada – Chapa frontal



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x55-8.8	18.0	39	34	73	85	32.5
2	ISO 4017-M16x55-8.8	18.0	39	34	73	85	32.5
3	ISO 4017-M16x55-8.8	18.0	39	--	73	85	32.0
4	ISO 4017-M16x55-8.8	18.0	39	--	73	85	32.0
5	ISO 4017-M16x55-8.8	18.0	39	--	73	85	32.0
6	ISO 4017-M16x55-8.8	18.0	39	--	73	85	32.0
7	ISO 4017-M16x55-8.8	18.0	39	34	73	85	33.0
8	ISO 4017-M16x55-8.8	18.0	39	34	73	85	33.0

--: La comprobación no procede.

2) Rigidizadores – Pilar HE 200 B

Unión soldada

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	59	10.7	80.03
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	3	261	7.1	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	59	10.7	80.03
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	3	261	7.1	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	7	59	10.7	80.03
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	3	261	7.1	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	7	59	10.7	80.03
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	3	261	7.1	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

- Comprobación

1) Viga IPE 300

Comprobacion de resistencia – Elementos

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltez	--	--	--	60.64	
	Cortante	kN	198.49	289.87	68.48	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	99.50	261.90	37.99	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	84.65	261.90	32.32	
Rigidizador superior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	99.02	261.90	37.81	
Rigidizador inferior	Tensión de Von Mises	N/mm ²	85.89	261.90	32.80	
Ala	Desgarro	N/mm ²	83.04	261.90	31.71	
	Cortante	N/mm ²	153.90	261.90	58.76	
Pilar HE 200 B	Ala	Tracción por flexión	kN	67.36	143.10	47.07
		Tracción	kN	24.30	288.95	8.41
	Alma	Tracción	kN	20.66	127.93	16.15

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$39.24 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \underline{279} \text{ mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \underline{7.1} \text{ mm}$$

$$e : \underline{0.92}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$198.49 \text{ kN} \leq 289.87 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \underline{198.49} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \underline{289.87} \text{ kN}$$

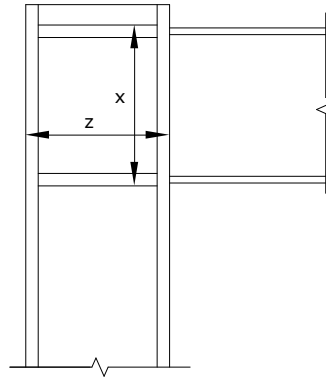
Donde:

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2130	198.49	289.87	68.48
x	1440	128.88	195.99	65.76



- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$99.50 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s : Tensión normal $s : \underline{99.50} \text{ N/mm}^2$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección $F_{\perp} : \underline{88.50} \text{ kN}$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales $L_{\perp} : \underline{59} \text{ mm}$

t : Tensión tangencial $t : \underline{0.16} \text{ N/mm}^2$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección $F_{\parallel} : \underline{0.14} \text{ kN}$

$L_{ }$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	$L_{ }$:	<u>59</u> mm
t : Espesor	t :	<u>15.0</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$84.65 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s : Tensión normal	s :	<u>84.65</u> N/mm ²
----------------------	-------	--------------------------------

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección	F_{\perp} :	<u>75.30</u> kN
L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales	L_{\perp} :	<u>59</u> mm
t : Tensión tangencial	t :	<u>0.09</u> N/mm ²

$F_{ }$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección	$F_{ }$:	<u>0.08</u> kN
$L_{ }$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	$L_{ }$:	<u>59</u> mm
t : Espesor	t :	<u>15.0</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$99.02 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s : Tensión normal	s :	<u>99.02</u> N/mm ²
----------------------	-------	--------------------------------

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección	F_{\perp} :	<u>88.08</u> kN
L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales	L_{\perp} :	<u>59</u> mm
t: Tensión tangencial	t :	<u>0.16</u> N/mm ²

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección	F_{\parallel} :	<u>0.14</u> kN
L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	L_{\parallel} :	<u>59</u> mm
t: Espesor	t :	<u>15.0</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$85.89 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

s: Tensión normal	s :	<u>85.89</u> N/mm ²
-------------------	-----	--------------------------------

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección	F_{\perp} :	<u>76.40</u> kN
L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales	L_{\perp} :	<u>59</u> mm
t: Tensión tangencial	t :	<u>0.09</u> N/mm ²

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección	F_{\parallel} :	<u>0.08</u> kN
L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales	L_{\parallel} :	<u>59</u> mm
t: Espesor	t :	<u>15.0</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} :	<u>1.05</u>

- Comprobaciones por unión con elemento "

- Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$83.04 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

s : Tensión normal	s : $\frac{82.95}{1}$ N/mm ²
t : Tensión tangencial	t : $\frac{2.26}{1}$ N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : $\frac{275.00}{1}$ N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} : $\frac{1.05}{1}$

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$153.90 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

s : Tensión normal	s : $\frac{153.90}{1}$ N/mm ²
t : Tensión tangencial	t : $\frac{0.07}{1}$ N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : $\frac{275.00}{1}$ N/mm ²
g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{Mo} : $\frac{1.05}{1}$

- Comprobaciones por unión con elemento 'Pilar HE 200 B'

- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$67.36 \text{ kN} \leq 143.10 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

F_{T,Ed} : Fuerza de tracción solicitante	F_{T,Ed} : $\frac{67.36}{1}$ kN
F_{T,Rd} : Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente	F_{T,Rd} : $\frac{143.10}{1}$ kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86 \text{ kN}}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : \underline{143.10 \text{ kN}}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : \underline{188.40 \text{ kN}}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} : \underline{143.10 \text{ kN}}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{1.15 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{1.17 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$\hat{a}F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\hat{a}F_{t,Rd} : \underline{180.86 \text{ kN}}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{10.7 \text{ mm}}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{24 \text{ mm}}$$

n : Igual e_{min} pero $n \geq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{30 \text{ mm}}$$

$\hat{a}l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\hat{a}l_{eff,1} : \underline{153 \text{ mm}}$$

$\hat{a}l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\hat{a}l_{eff,2} : \underline{156 \text{ mm}}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00 \text{ N/mm}^2}$$

g_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{Mo} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual λ_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

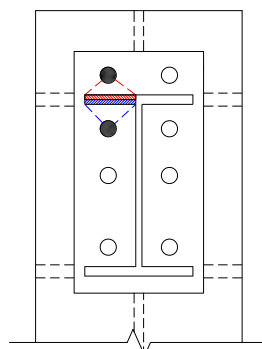
$N_{\text{t,Rd}}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{\text{yd}} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $g_{\text{M0}} : \underline{1.05}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{\text{t,Rd}}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	1103	9.49	288.95	3.28
Inferior	1103	14.81	288.95	5.13
å		24.30	288.95	8.41



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$20.66 \text{ kN} \leq 127.93 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \quad \underline{\quad 20.66 \quad} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \quad \underline{\quad 127.93 \quad} \text{ kN}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \quad \underline{\quad 488.00 \quad} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \quad \underline{\quad 261.90 \quad} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \quad \underline{\quad 275.00 \quad} \text{ N/mm}^2$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{M0} : \quad \underline{\quad 1.05 \quad}$$

Comprobación de resistencia – Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s^\wedge (N/mm ²)	t^\wedge (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s^\wedge (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	68.5	81.6	0.2	157.2	40.73	68.5	20.90	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	57.3	99.2	25.71	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	58.3	69.5	0.1	133.7	34.65	58.3	17.78	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	48.7	84.4	21.87	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	68.2	81.3	0.2	156.4	40.53	68.2	20.80	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	57.0	98.7	25.59	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	59.2	70.5	0.1	135.7	35.16	59.2	18.04	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	49.5	85.7	22.20	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Pilar HE 200 B

Comprobación de resistencia – Elementos

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	kN	67.36	158.08	42.61
Ala	Compresión	kN	176.85	598.32	29.56
	Tracción	kN	43.30	313.07	13.83
Alma	Tracción	kN	33.68	136.06	24.75

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$67.36 \text{ kN} \leq 158.08 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$$F_{T,Ed}: \text{ Fuerza de tracción solicitante} \quad F_{T,Ed} : \underline{67.36} \text{ kN}$$

$$F_{T,Rd}: \text{ Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente} \quad F_{T,Rd} : \underline{158.08} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} : \underline{158.08} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} : \underline{259.19} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} : \underline{158.08} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{1.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{1.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{15.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{24} \text{ mm}$$

n : Igual e_{\min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{30} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\sum l_{eff,1} : \underline{106} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\sum l_{eff,2} : \underline{106} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

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

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$176.85 \text{ kN} \leq 598.32 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{176.85} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{598.32} \text{ kN}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión	A :	<u>2285</u>	mm ²
f_y : Tensión de límite elástico reducida.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
r : Factor de reducción	r :	<u>0.000</u>	
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

Donde:

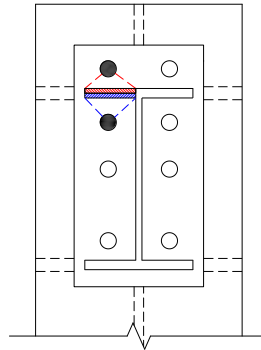
N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axial.

N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

f_{yd} : Resistencia de cálculo.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
g_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	g_{M0} :	<u>1.05</u>	

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	1289	9.62	337.48	2.85
Inferior	1171	33.68	306.74	10.98

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
ã		43.30	313.07	13.83



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$33.68 \text{ kN} \leq 136.06 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \quad \underline{\quad 33.68 \quad} \text{ kN}$$

N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \quad \underline{\quad 136.06 \quad} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área sometida a tracción

$$A : \quad \underline{\quad 520.00 \quad} \text{ mm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \quad \underline{\quad 261.90 \quad} \text{ N/mm}^2$$

f_y: Tensión de límite elástico.

$$f_y : \quad \underline{\quad 275.00 \quad} \text{ N/mm}^2$$

g_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$g_{M0} : \quad \underline{\quad 1.05 \quad}$$

Comprobación de resistencia – Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	b _w
	s _⊥ (N/mm ²)	t _⊥ (N/mm ²)	t (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	43.0	51.2	0.5	98.6	25.55	43.0	13.11	410.0	0.85

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	b _w
	s _⊥ (N/mm ²)	t _⊥ (N/mm ²)	t (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	35.3	35.3	18.8	77.7	20.13	35.3	10.75	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	44.4	37.3	0.3	78.4	20.32	44.4	13.55	410.0	0.85

Comprobacion de resistencia – Tornillos

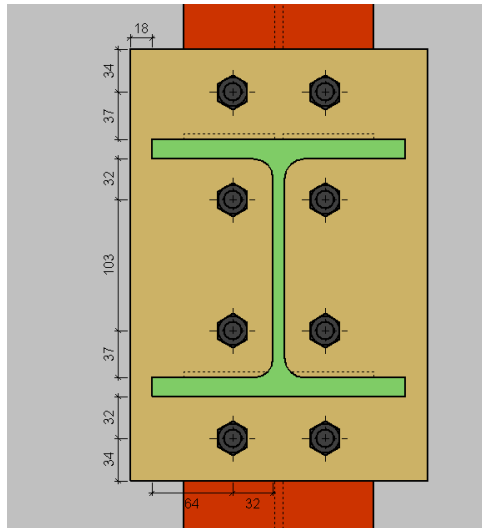
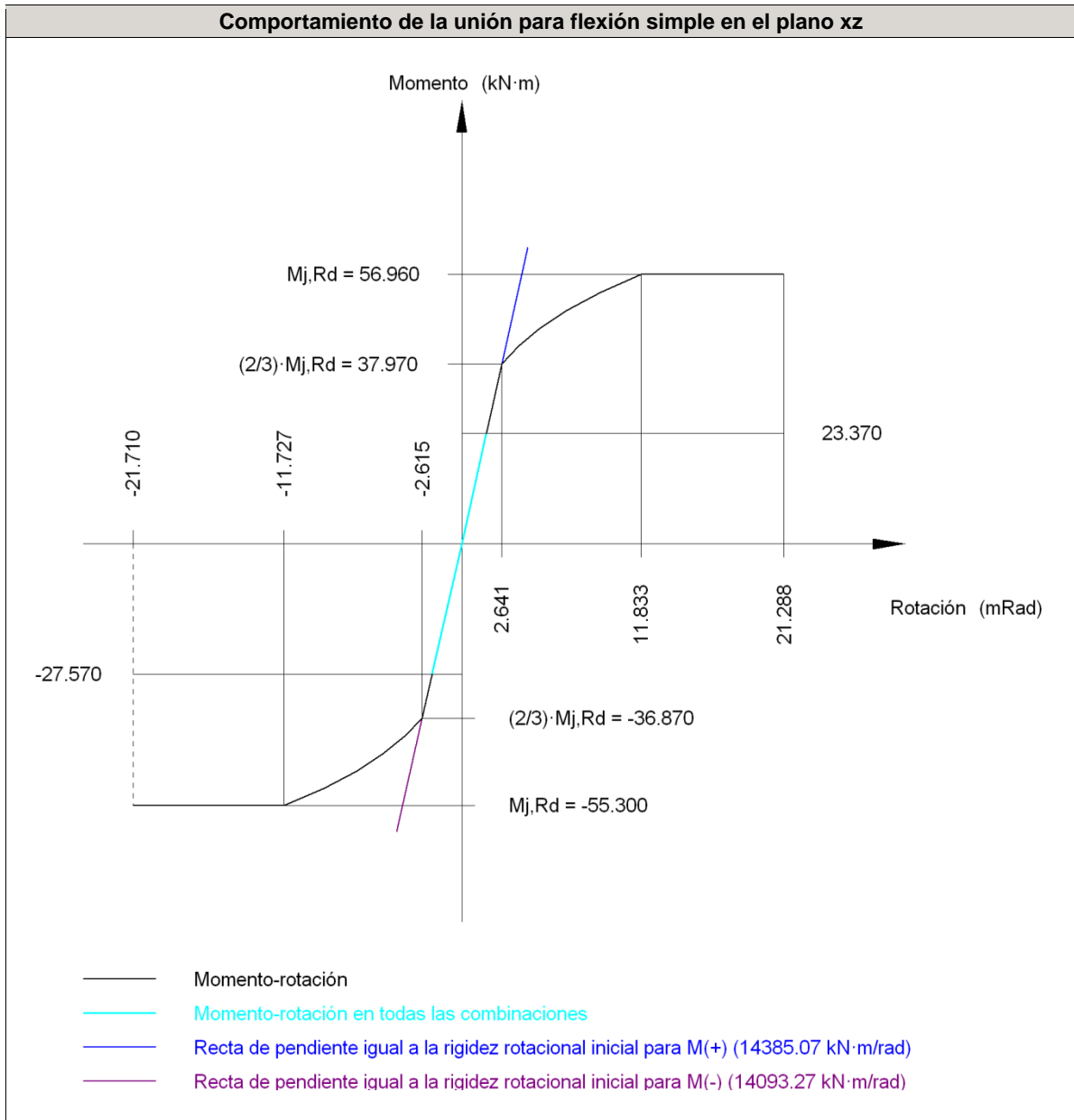


Fig.69. Disposición de tornillos viga IPE 300.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	5.413	50.240	10.77	Vástago	42.569	90.432	47.07	33.62	47.07
	Aplastamiento	5.413	87.711	6.17	Punzonamiento	42.569	167.867	25.36		
2	Sección transversal	5.413	50.240	10.77	Vástago	42.542	90.432	47.04	33.60	47.04
	Aplastamiento	5.413	87.676	6.17	Punzonamiento	42.542	167.867	25.34		
3	Sección transversal	3.699	50.240	7.36	Vástago	24.784	90.432	27.41	19.66	27.41
	Aplastamiento	3.699	140.384	2.63	Punzonamiento	24.784	167.867	14.76		
4	Sección transversal	3.699	50.240	7.36	Vástago	24.757	90.432	27.38	20.44	27.38
	Aplastamiento	3.699	140.260	2.64	Punzonamiento	24.757	167.867	14.75		
5	Sección transversal	5.469	50.240	10.88	Vástago	16.123	90.432	17.83	13.49	17.83
	Aplastamiento	5.469	140.378	3.90	Punzonamiento	16.123	167.867	9.60		
6	Sección transversal	5.469	50.240	10.88	Vástago	16.039	90.432	17.74	14.26	17.74
	Aplastamiento	5.469	140.384	3.90	Punzonamiento	16.039	167.867	9.55		
7	Sección transversal	13.359	50.240	26.59	Vástago	27.582	90.432	30.50	26.59	30.50
	Aplastamiento	13.359	140.376	9.52	Punzonamiento	27.582	167.867	16.43		
8	Sección transversal	13.359	50.240	26.59	Vástago	27.499	90.432	30.41	26.59	30.41
	Aplastamiento	13.359	140.384	9.52	Punzonamiento	27.499	167.867	16.38		

Comprobación rigidez rotacional

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (kN·m/rad)	Plano xz (kN·m/rad)
Calculada para momentos positivos	16924.38	14385.07
Calculada para momentos negativos	16924.38	14093.27



Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Relación entre modos 1 y 3	--	1.04	1.80	57.87
Momento resistente	kNm	27.57	55.30	49.85
Capacidad de rotación	Mm	10.70	9.82	108.91

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3
(Criterio de CYPE Ingenieros, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$1.04 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$b : \quad \underline{1.04}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \quad \underline{188.40} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \quad \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$27.57 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 55.30 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \quad \underline{27.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \quad \underline{55.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Capacidad de rotación de la chapa (CTE DB SE-A, 8.7)

Debe cumplirse:

$$10.7 \text{ mm} \leq 9.8 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

t : Espesor de la chapa

$$t : \quad \underline{10.7} \text{ mm}$$

d : Diámetro del tornillo.

$$d : \quad \underline{16} \text{ mm}$$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$$f_{ub} : \quad \underline{800} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \quad \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

- Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	3	2092
			5	284
			7	949
			8	783

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	4	282x70x15	9.33
	Chapas	1	235x340x15	9.41
	Total			18.73

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	Clase 8.8	8	ISO 4017-M16x55
Tuercas	Clase 8	8	ISO 4032-M16
Arandelas	Dureza 200 HV	16	ISO 7089-16

3.5.5.8.6. Tirante de arriostramiento

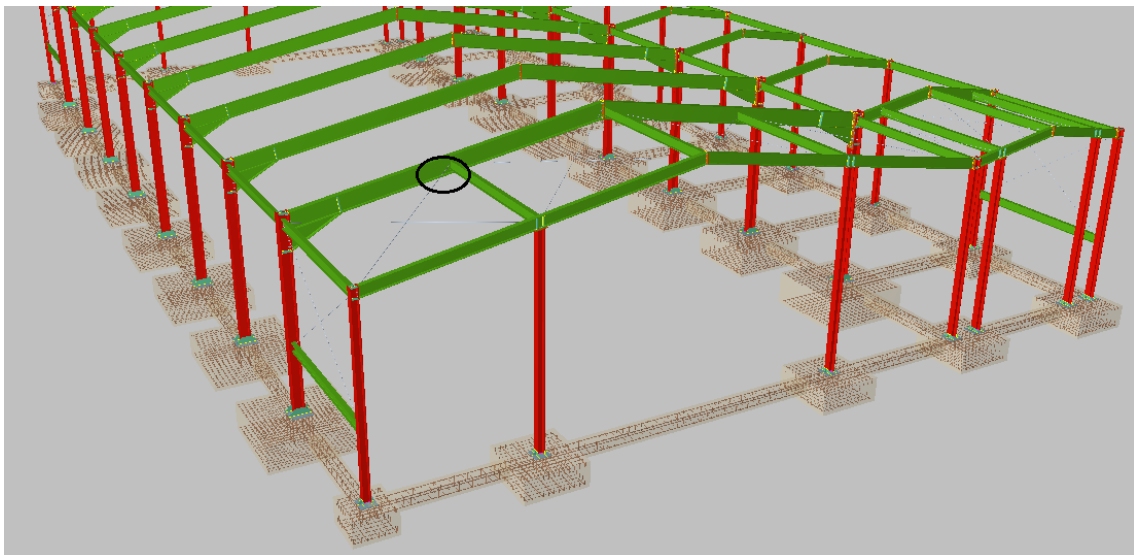


Fig.70. Ubicación unión 6.

Para este tipo de uniones de los tirantes, se desglosa la unión de los tirantes más solicitados de la estructura, es decir, los de perfil redondo macizo R15. Se realizan mediante una chapa angular soldada y con el tirante atornillado a esta, a través de una rosca que contiene el tirante en su extremo.

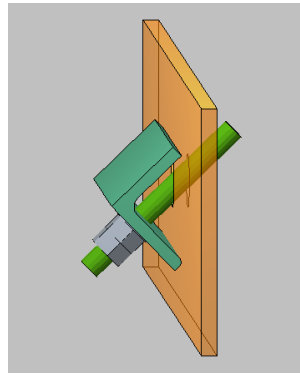


Fig.71. Unión 6 en 3D.

• Componentes de la unión

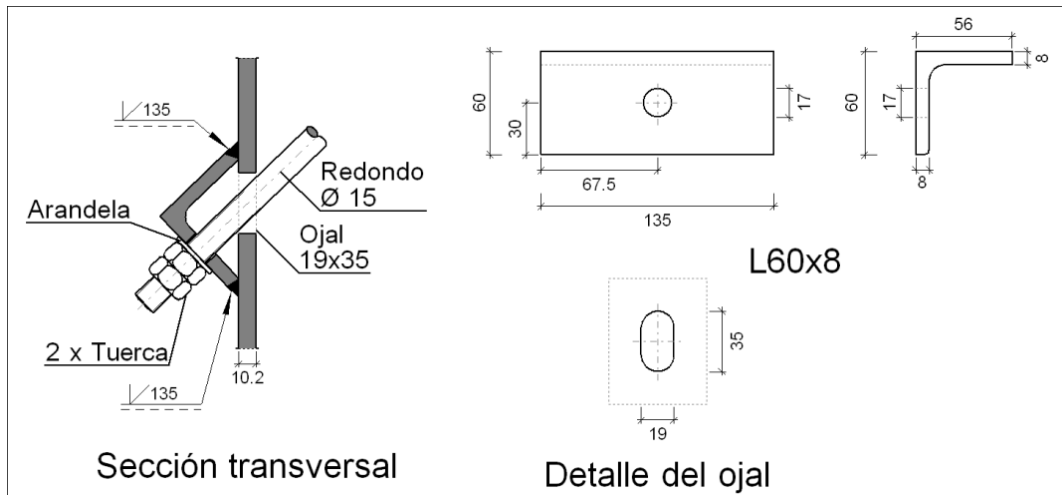


Fig. Desglose de elementos de la unión.

• Tipos de unión

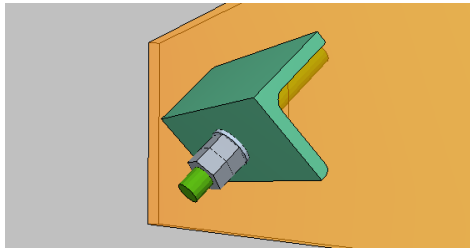
1) Perfil angular - Viga

Unión soldada

Comprobaciones geométricas			
Ref.	Tipo	Preparación de bordes (mm)	l (mm)
Soldaduras a tope del angular a la pieza	A tope en bisel simple	8	135

l: Longitud efectiva

2) Perfil angular – tirante

Unión atornillada**Fig.72.** Detalle unión atornillada.

La unión se realiza mediando 2 tuercas apoyadas en una arandela.

- Comprobación

1) L60x8 (S275)

Comprobación de resistencia – Elementos

Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Cortante de la sección transversal	kN	21.52	142.74	15.08
Flector	--	--	--	67.37

- Pieza**Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)**

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$21.52 \text{ kN} \leq 142.74 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo. $V_{Ed} : \underline{21.52} \text{ kN}$
 $V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$ $V_{c,Rd} : \underline{142.74} \text{ kN}$
 Donde:

$$A_v: \text{Área sometida a cortante} \quad A_v : \underline{944} \text{ mm}^2$$

$$f_{yd}: \text{Resistencia de cálculo.} \quad f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

	21.52 kN £ 142.74 kN ✓
V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.	$V_{Ed} : \quad \underline{21.52 \text{ kN}}$
$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$	$V_{c,Rd} : \quad \underline{142.74 \text{ kN}}$
Donde:	

A_v : Área sometida a cortante	$A_v : \quad \underline{944 \text{ mm}^2}$
f_{yd} : Resistencia de cálculo.	$f_{yd} : \quad \underline{261.90 \text{ N/mm}^2}$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

	0.46 kN·m £ 0.49 kN·m ✓
M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.	$M_{Ed} : \quad \underline{0.46 \text{ kN·m}}$
$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.	$M_{c,Rd} : \quad \underline{0.49 \text{ kN·m}}$
La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:	

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.	$W_{pl} : \quad \underline{1888.0 \text{ mm}^3}$
f_{yd} : Resistencia de cálculo.	$f_{yd} : \quad \underline{261.90 \text{ N/mm}^2}$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

siendo

En ningún caso podrá ser $M_{V,Rd} > M_{0,Rd}$

21.52 kN £ 71.37 kN

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Comprobación de resistencia – Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_\wedge (N/mm ²)	t_\wedge (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_\wedge (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldaduras a tope del angular a la pieza	La comprobación no procede.							410.0	0.85

- Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	A tope en bisel simple	8	270

Angulares				
Material	Tipo	Descripción (mm)	Longitud (mm)	Peso (kg)
S275	Anclajes de tirantes	L60x8	135	0.95
	Total			0.95

Elementos de tornillería no normalizados		
Tipo	Cantidad	Descripción
Tuercas	2	T15
Arandelas	1	A15

3.5.5.8.7. Placa de anclaje

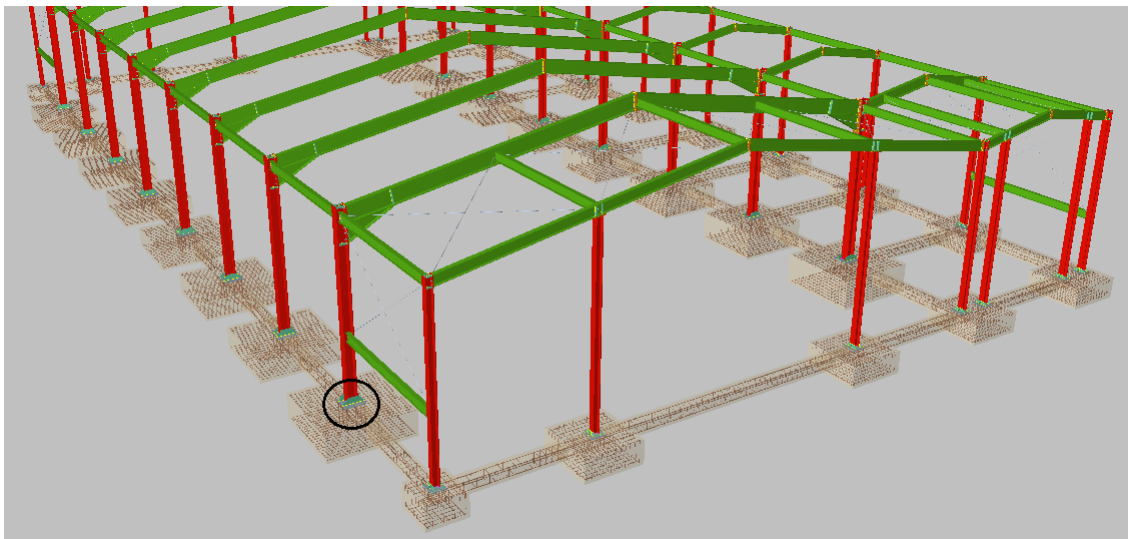


Fig.73. Ubicación unión 7.

Por último, se muestra una de las uniones entre los pilares y la cimentación, generadas a partir de una placa base soldada a la zapata de la cimentación y unida a la misma mediante pernos de anclaje. Además, dispone de dos rigidizadores paralelos a las alas del pilar. Todos los pilares tienen una unión análoga a esta, por lo que analizamos la más solicitada.

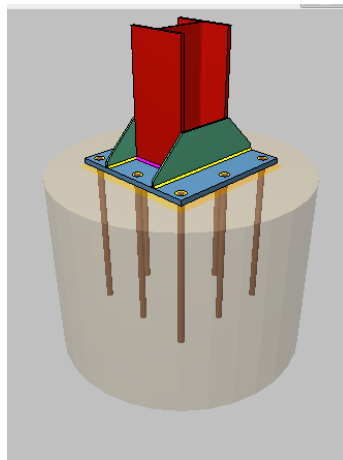
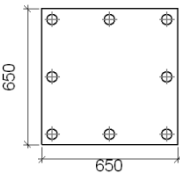



Fig.74. Unión 7 en 3D.

- Componentes de la unión

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)

Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Placa base		650	650	25	8	50	34	9	S275	275.0	410.0
Rigidizador		650	200	10	-	-	-	-	S275	275.0	410.0

- Tipos de unión

1) Pilar HE 300 B – Placa base

Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	8	1550	11.0	90.00	
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>						

2) Rigidizadores - Placa base - Cimentación

Unión soldada

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Rigidizador y-y ($x = -155$): Soldadura a la placa base	En ángulo	7	--	650	10.0	90.00
Rigidizador y-y ($x = 155$): Soldadura a la placa base	En ángulo	7	--	650	10.0	90.00
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	--	9	101	25.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>						

Unión atornillada

Se realice mediante pernos de anclaje, concretamente 4, dispuestos de la siguiente manera:

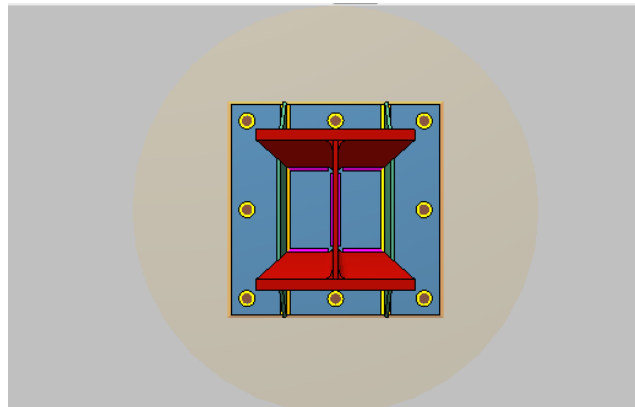


Fig.75. Disposición de pernos de anclaje.

- Comprobación

1) Pilar HE 300 B

Comprobación de resistencia – Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_{\perp} (N/mm ²)	t_{\perp} (N/mm ²)	t_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Comprobación de resistencia – Elementos

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 96 mm Calculado: 275 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 46	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 37 cm Calculado: 75 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		

Referencia:		
Comprobación	Valores	Estado
- Tracción:	Máximo: 205.14 kN Calculado: 145.29 kN	Cumple
- Cortante:	Máximo: 143.6 kN Calculado: 19.7 kN	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 205.14 kN Calculado: 173.43 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 257.28 kN Calculado: 130.23 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 167.385 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 419.05 kN Calculado: 17.67 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 130.796 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 114.03 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 224.942 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 174.605 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 902.871	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 1209.33	Cumple
- Arriba:	Calculado: 4644.12	Cumple
- Abajo:	Calculado: 4761.36	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 218.392 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Comprobación de resistencia – Soldaduras

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	b_w
	s_\perp (N/mm ²)	t_\perp (N/mm ²)	$t_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	s_\perp (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -155): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 155): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	185.1	320.5	83.07	0.0	0.00	410.0	0.85

- Medición

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	En ángulo	7	2524
		A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	9	804
	En el lugar de montaje	En ángulo	8	1550

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	650x650x25	82.92
	Rigidizadores pasantes	2	650/300x200/30x10	15.74
	Total			98.65
B 400 S, $Y_s = 1.15$ (corrugado)	Pernos de anclaje	8	$\varnothing 32 - L = 827$	41.77
	Total			41.77

3.5.5.9. Cimentación

El terreno en el que se va a construir la nave es lo suficientemente firme y estable como para sustentar el edificio, por lo que las cimentaciones requeridas son superficiales. A la hora de realizar el cálculo, de toma como tensión para el terreno el valor de 0,3 MPa.

La cimentación está formada por zapatas aisladas de diferentes geometrías y siendo cuadradas todas ellas. Disponen de armado inferior y superior, tanto en la dirección del eje X como en la dirección del eje Y, unidos entre sí mediante patillas en los cantos de las mismas.

Por otro lado, se emplean vigas de atado entre las zapatas con la finalidad de absorber las acciones horizontales que pueden recibir los cimientos de la estructura, evitando de esta forma el desplazamiento horizontal relativo de uno respecto a otro. Además, por su posición, se usan también para apoyar muros o cerramientos, en este caso el muro perimetral y los cerramientos laterales. Las vigas de atado también disponen tanto de armadura superior como inferior.

En cuanto a los materiales empleados, el hormigón es un HA-25, con un tamaño máximo de árido de 30 mm y una clase general de exposición de tipo II a.

En las zapatas se hace uso de una capa de 10 cm de hormigón de limpieza (HL-100) con el fin de no malgastar el hormigón de mayor resistencia para la

nivelación del terreno. Este hormigón impide la contaminación del hormigón de las zapatas con el terreno y regulariza el mismo.

El acero empleado en las armaduras, encepados y vigas de atado es el B400S.

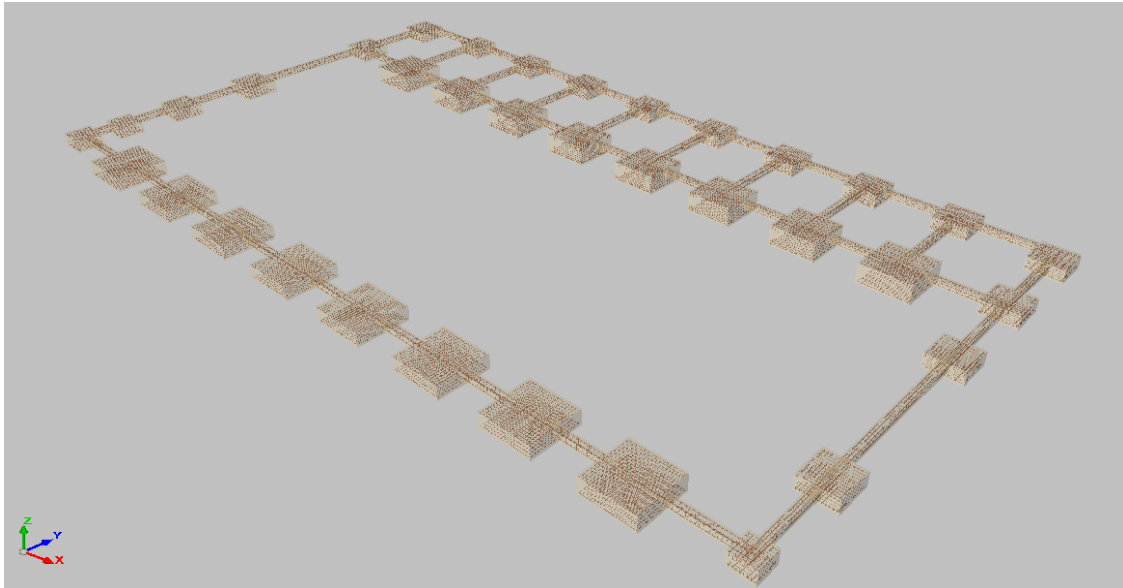


Fig.76. Cimentación.

En los siguientes apartados se describen las zapatas y las vigas de atado empleadas para formar la cimentación. Además, se muestran todas las comprobaciones pertinentes.

3.5.5.9.1. Zapatas

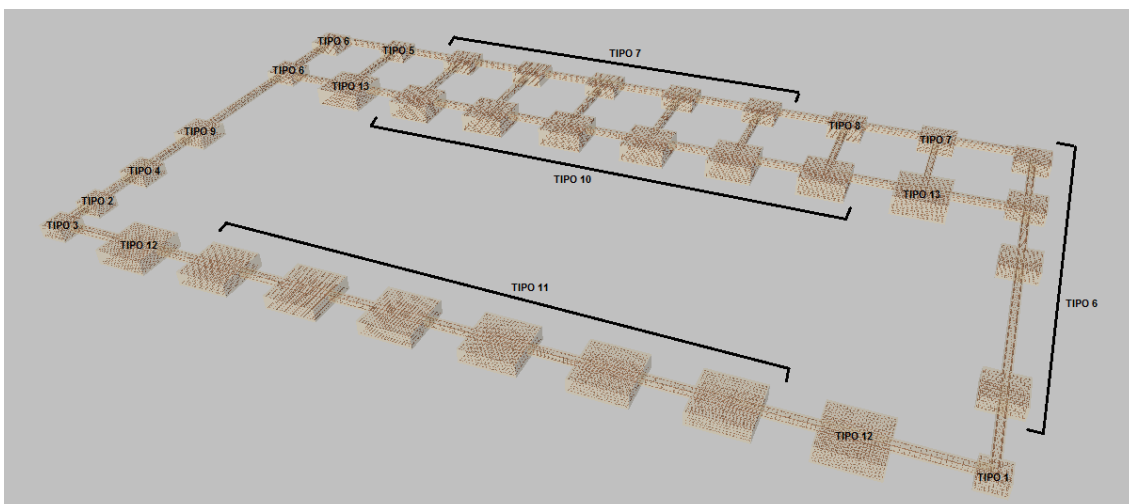


Fig.77. Tipos de zapatas.

- Descripción

Referencias	Geometría	Armado
TIPO 1	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 62.5 cm Ancho inicial Y: 62.5 cm Ancho final X: 62.5 cm Ancho final Y: 62.5 cm Ancho zapata X: 125.0 cm Ancho zapata Y: 125.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 8Ø12c/15 Sup Y: 8Ø12c/15 Inf X: 8Ø12c/15 Inf Y: 8Ø12c/15
TIPO 2	Zapata cuadrada Ancho: 140.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 9Ø12c/15 Sup Y: 9Ø12c/15 Inf X: 9Ø12c/15 Inf Y: 9Ø12c/15
TIPO 3	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 72.5 cm Ancho inicial Y: 72.5 cm Ancho final X: 72.5 cm Ancho final Y: 72.5 cm Ancho zapata X: 145.0 cm Ancho zapata Y: 145.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 9Ø12c/15 Sup Y: 9Ø12c/15 Inf X: 9Ø12c/15 Inf Y: 9Ø12c/15
TIPO 4	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 85.0 cm Ancho inicial Y: 85.0 cm Ancho final X: 85.0 cm Ancho final Y: 85.0 cm Ancho zapata X: 170.0 cm Ancho zapata Y: 170.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 11Ø12c/15 Sup Y: 11Ø12c/15 Inf X: 11Ø12c/15 Inf Y: 11Ø12c/15
TIPO 5	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 87.5 cm Ancho inicial Y: 87.5 cm Ancho final X: 87.5 cm Ancho final Y: 87.5 cm Ancho zapata X: 175.0 cm Ancho zapata Y: 175.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 11Ø12c/15 Sup Y: 11Ø12c/15 Inf X: 11Ø12c/15 Inf Y: 11Ø12c/15
TIPO 6	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 95.0 cm Ancho inicial Y: 95.0 cm Ancho final X: 95.0 cm Ancho final Y: 95.0 cm Ancho zapata X: 190.0 cm Ancho zapata Y: 190.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 12Ø12c/15 Sup Y: 12Ø12c/15 Inf X: 12Ø12c/15 Inf Y: 12Ø12c/15
TIPO 7	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 97.5 cm Ancho inicial Y: 97.5 cm Ancho final X: 97.5 cm Ancho final Y: 97.5 cm Ancho zapata X: 195.0 cm Ancho zapata Y: 195.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 13Ø12c/15 Sup Y: 13Ø12c/15 Inf X: 13Ø12c/15 Inf Y: 13Ø12c/15

Referencias	Geometría	Armado
TIPO 8	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 97.5 cm Ancho inicial Y: 97.5 cm Ancho final X: 97.5 cm Ancho final Y: 97.5 cm Ancho zapata X: 195.0 cm Ancho zapata Y: 195.0 cm Canto: 85.0 cm	Sup X: 14Ø12c/13 Sup Y: 14Ø12c/13 Inf X: 14Ø12c/13 Inf Y: 14Ø12c/13
TIPO 9	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 100.0 cm Ancho inicial Y: 100.0 cm Ancho final X: 100.0 cm Ancho final Y: 100.0 cm Ancho zapata X: 200.0 cm Ancho zapata Y: 200.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 13Ø12c/15 Sup Y: 13Ø12c/15 Inf X: 13Ø12c/15 Inf Y: 13Ø12c/15
TIPO 10	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 127.5 cm Ancho inicial Y: 127.5 cm Ancho final X: 127.5 cm Ancho final Y: 127.5 cm Ancho zapata X: 255.0 cm Ancho zapata Y: 255.0 cm Canto: 110.0 cm	Sup X: 14Ø16c/18 Sup Y: 14Ø16c/18 Inf X: 14Ø16c/18 Inf Y: 14Ø16c/18
TIPO 11	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 137.5 cm Ancho inicial Y: 137.5 cm Ancho final X: 137.5 cm Ancho final Y: 137.5 cm Ancho zapata X: 275.0 cm Ancho zapata Y: 275.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 18Ø12c/15 Sup Y: 18Ø12c/15 Inf X: 18Ø12c/15 Inf Y: 18Ø12c/15
TIPO 12	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 137.5 cm Ancho inicial Y: 137.5 cm Ancho final X: 137.5 cm Ancho final Y: 137.5 cm Ancho zapata X: 275.0 cm Ancho zapata Y: 275.0 cm Canto: 85.0 cm	Sup X: 21Ø12c/13 Sup Y: 21Ø12c/13 Inf X: 21Ø12c/13 Inf Y: 21Ø12c/13
TIPO 13	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 140.0 cm Ancho inicial Y: 140.0 cm Ancho final X: 140.0 cm Ancho final Y: 140.0 cm Ancho zapata X: 280.0 cm Ancho zapata Y: 280.0 cm Canto: 110.0 cm	Sup X: 15Ø16c/18 Sup Y: 15Ø16c/18 Inf X: 15Ø16c/18 Inf Y: 15Ø16c/18

- Medición

Referencias: (N6 - N88) y (N78 - N84)		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	12x2.09	25.08
	Peso (kg)	12x1.86	22.27
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	12x2.09	25.08
	Peso (kg)	12x1.86	22.27
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	12x2.09	25.08
	Peso (kg)	12x1.86	22.27
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	12x2.09	25.08
	Peso (kg)	12x1.86	22.27
Totales	Longitud (m)	100.32	
	Peso (kg)	89.08	89.08
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	110.35	
	Peso (kg)	97.99	97.99
Referencias: (N3 - N87) y (N75 - N83)		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	12x2.09	25.08
	Peso (kg)	12x1.86	22.27
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	12x2.09	25.08
	Peso (kg)	12x1.86	22.27
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	12x2.09	25.08
	Peso (kg)	12x1.86	22.27
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	12x2.09	25.08
	Peso (kg)	12x1.86	22.27
Totales	Longitud (m)	100.32	
	Peso (kg)	89.08	89.08
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	110.35	
	Peso (kg)	97.99	97.99
Referencia: N86		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	13x1.90	24.70
	Peso (kg)	13x1.69	21.93
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	13x1.90	24.70
	Peso (kg)	13x1.69	21.93
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	13x1.90	24.70
	Peso (kg)	13x1.69	21.93
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	13x1.90	24.70
	Peso (kg)	13x1.69	21.93
Totales	Longitud (m)	98.80	
	Peso (kg)	87.72	87.72
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	108.68	
	Peso (kg)	96.49	96.49
Referencia: N85		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	11x1.89	20.79
	Peso (kg)	11x1.68	18.46
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	11x1.89	20.79
	Peso (kg)	11x1.68	18.46
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	11x1.89	20.79
	Peso (kg)	11x1.68	18.46

Referencia: N85		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	11x1.89	20.79
	Peso (kg)	11x1.68	18.46
Totales	Longitud (m)	83.16	
	Peso (kg)	73.84	73.84
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	91.48	
	Peso (kg)	81.22	81.22
Referencia: N1		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	9x1.64	14.76
	Peso (kg)	9x1.46	13.10
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	9x1.64	14.76
	Peso (kg)	9x1.46	13.10
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	9x1.64	14.76
	Peso (kg)	9x1.46	13.10
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	9x1.64	14.76
	Peso (kg)	9x1.46	13.10
Totales	Longitud (m)	59.04	
	Peso (kg)	52.40	52.40
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	64.94	
	Peso (kg)	57.64	57.64
Referencia: N14		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	11x1.94	21.34
	Peso (kg)	11x1.72	18.95
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	11x1.94	21.34
	Peso (kg)	11x1.72	18.95
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	11x1.94	21.34
	Peso (kg)	11x1.72	18.95
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	11x1.94	21.34
	Peso (kg)	11x1.72	18.95
Totales	Longitud (m)	85.36	
	Peso (kg)	75.80	75.80
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	93.90	
	Peso (kg)	83.38	83.38
Referencias: N11 y N67		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø16	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	15x2.70	40.50
	Peso (kg)	15x4.26	63.92
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	15x2.70	40.50
	Peso (kg)	15x4.26	63.92
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	15x2.70	40.50
	Peso (kg)	15x4.26	63.92
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	15x2.70	40.50
	Peso (kg)	15x4.26	63.92
Totales	Longitud (m)	162.00	
	Peso (kg)	255.68	255.68
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	178.20	
	Peso (kg)	281.25	281.25
Referencias: N22, N30, N38, N46 y N54		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	

Referencias: N22, N30, N38, N46 y N54		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	13x2.14	27.82
	Peso (kg)	13x1.90	24.70
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	13x2.14	27.82
	Peso (kg)	13x1.90	24.70
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	13x2.14	27.82
	Peso (kg)	13x1.90	24.70
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	13x2.14	27.82
	Peso (kg)	13x1.90	24.70
Totales	Longitud (m)	111.28	
	Peso (kg)	98.80	98.80
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	122.41	
	Peso (kg)	108.68	108.68
Referencias: N19, N27, N43, N51, N35 y N59		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø16	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	14x2.75	38.50
	Peso (kg)	14x4.34	60.77
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	14x2.75	38.50
	Peso (kg)	14x4.34	60.77
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	14x2.75	38.50
	Peso (kg)	14x4.34	60.77
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	14x2.75	38.50
	Peso (kg)	14x4.34	60.77
Totales	Longitud (m)	154.00	
	Peso (kg)	243.08	243.08
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	169.40	
	Peso (kg)	267.39	267.39
Referencia: N62		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	14x2.14	29.96
	Peso (kg)	14x1.90	26.60
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	14x2.14	29.96
	Peso (kg)	14x1.90	26.60
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	14x2.14	29.96
	Peso (kg)	14x1.90	26.60
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	14x2.14	29.96
	Peso (kg)	14x1.90	26.60
Totales	Longitud (m)	119.84	
	Peso (kg)	106.40	106.40
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	131.82	
	Peso (kg)	117.04	117.04
Referencia: N70		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	13x2.08	27.04
	Peso (kg)	13x1.85	24.01
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	13x2.08	27.04
	Peso (kg)	13x1.85	24.01
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	13x2.08	27.04
	Peso (kg)	13x1.85	24.01
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	13x2.08	27.04
	Peso (kg)	13x1.85	24.01

Referencia: N70		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Totales	Longitud (m)	108.16	96.04
	Peso (kg)	96.04	
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	118.98	105.64
	Peso (kg)	105.64	
Referencias: N82 y N81		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	12x2.03	24.36
	Peso (kg)	12x1.80	21.63
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	12x2.03	24.36
	Peso (kg)	12x1.80	21.63
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	12x2.03	24.36
	Peso (kg)	12x1.80	21.63
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	12x2.03	24.36
	Peso (kg)	12x1.80	21.63
Totales	Longitud (m)	97.44	86.52
	Peso (kg)	86.52	
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	107.18	95.17
	Peso (kg)	95.17	
Referencia: N73		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	8x1.44	11.52
	Peso (kg)	8x1.28	10.23
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	8x1.44	11.52
	Peso (kg)	8x1.28	10.23
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	8x1.44	11.52
	Peso (kg)	8x1.28	10.23
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	8x1.44	11.52
	Peso (kg)	8x1.28	10.23
Totales	Longitud (m)	46.08	40.92
	Peso (kg)	40.92	
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	50.69	45.01
	Peso (kg)	45.01	
Referencias: N9 y N65		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	21x2.65	55.65
	Peso (kg)	21x2.35	49.41
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	21x2.65	55.65
	Peso (kg)	21x2.35	49.41
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	21x2.65	55.65
	Peso (kg)	21x2.35	49.41
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	21x2.65	55.65
	Peso (kg)	21x2.35	49.41
Totales	Longitud (m)	222.60	197.64
	Peso (kg)	197.64	
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	244.86	217.40
	Peso (kg)	217.40	
Referencias: N17, N25, N33, N41, N49 y N57		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	18x2.65	47.70
	Peso (kg)	18x2.35	42.35

Referencias: N17, N25, N33, N41, N49 y N57		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	18x2.65	47.70
	Peso (kg)	18x2.35	42.35
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	18x2.65	47.70
	Peso (kg)	18x2.35	42.35
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	18x2.65	47.70
	Peso (kg)	18x2.35	42.35
Totales	Longitud (m)	190.80	
	Peso (kg)	169.40	169.40
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	209.88	
	Peso (kg)	186.34	186.34

Referencia: N115		B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado		Ø12	
Parrilla inferior - Armado X	Longitud (m)	9x1.59	14.31
	Peso (kg)	9x1.41	12.70
Parrilla inferior - Armado Y	Longitud (m)	9x1.59	14.31
	Peso (kg)	9x1.41	12.70
Parrilla superior - Armado X	Longitud (m)	9x1.59	14.31
	Peso (kg)	9x1.41	12.70
Parrilla superior - Armado Y	Longitud (m)	9x1.59	14.31
	Peso (kg)	9x1.41	12.70
Totales	Longitud (m)	57.24	
	Peso (kg)	50.80	50.80
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	62.96	
	Peso (kg)	55.88	55.88

Resumen de medición (se incluyen mermas de acero)

Elemento	B 400 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø12	Ø16	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: (N6 - N88) y (N78 - N84)	2x97.99		195.98	2x2.71	2x0.36
Referencias: (N3 - N87) y (N75 - N83)	2x97.99		195.98	2x2.71	2x0.36
Referencia: N86	96.49		96.49	3.00	0.40
Referencia: N85	81.22		81.22	2.17	0.29
Referencia: N1	57.64		57.64	1.58	0.21
Referencia: N14	83.38		83.38	2.30	0.31
Referencias: N11 y N67		2x281.25	562.50	2x8.62	2x0.78
Referencias: N22, N30, N38, N46 y N54	5x108.68		543.40	5x2.85	5x0.38
Referencias: N19, N27, N43, N51, N35 y N59		6x267.39	1604.34	6x7.15	6x0.65
Referencia: N62	117.04		117.04	3.23	0.38
Referencia: N70	105.64		105.64	2.85	0.38
Referencias: N82 y N81	2x95.17		190.34	2x2.71	2x0.36
Referencia: N73	45.01		45.01	1.17	0.16
Referencias: N9 y N65	2x217.40		434.80	2x6.43	2x0.76
Referencias: N17, N25, N33, N41, N49 y N57	6x186.34		1118.04	6x5.67	6x0.76
Referencia: N115	55.88		55.88	1.47	0.20

Elemento	B 400 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø12	Ø16	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Totales	3320.84	2166.84	5487.68	155.32	17.91

- Comprobación

Tipo 1

Referencia: N73		
Dimensiones: 125 x 125 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0554265 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0629802 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.119388 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 93.5 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 30.9 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 9.02 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 15.68 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m² Calculado: 79.8 kN/m²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 75 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N73:	Mínimo: 35 cm Calculado: 68 cm	Cumple

Referencia: N73		
Dimensiones: 125 x 125 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado superior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001	 Cumple Cumple Cumple Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0011 Mínimo: 0.0001 Mínimo: 0.0002 Mínimo: 0.0001 Mínimo: 0.0001	 Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> - Parrilla inferior: - Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm Calculado: 12 mm	 Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	 Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	 Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> - Armado inf. dirección X hacia der: - Armado inf. dirección X hacia izq: - Armado inf. dirección Y hacia arriba: - Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	 Cumple Cumple Cumple Cumple

Referencia: N73		
Dimensiones: 125 x 125 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 12 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 2

Referencia: N115		
Dimensiones: 140 x 140 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0482652 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0440469 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.116641 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 7.9 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 72.0 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 24.90 kN·m	Cumple

Referencia: N115		
Dimensiones: 140 x 140 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- En dirección Y:	Momento: 13.78 kN-m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 82 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 75 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N115:	Mínimo: 35 cm Calculado: 68 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>	Calculado: 0.0011	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	

Referencia: N115		
Dimensiones: 140 x 140 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 12 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 3

Referencia: N1		
Dimensiones: 145 x 145 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0385533 MPa	Cumple

Referencia: N1		
Dimensiones: 145 x 145 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0396324 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0802458 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 188.9 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 45.7 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 9.37 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 16.52 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 60.1 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>		
	Mínimo: 25 cm Calculado: 75 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N1:	Mínimo: 35 cm Calculado: 68 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.0011 Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple

Referencia: N1		
Dimensiones: 145 x 145 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 12 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple

Referencia: N1		
Dimensiones: 145 x 145 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 4

Referencia: N85		
Dimensiones: 170 x 170 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0442431 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0404172 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0890748 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 13.7 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 355.4 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 40.66 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 19.77 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 106.5 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>		
	Mínimo: 25 cm Calculado: 75 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N85:	Mínimo: 35 cm Calculado: 68 cm	Cumple

Referencia: N85		
Dimensiones: 170 x 170 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado superior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001	 Cumple Cumple Cumple Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0011 Mínimo: 0.0003 Mínimo: 0.0002 Mínimo: 0.0001 Mínimo: 0.0001	 Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> - Parrilla inferior: - Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm Calculado: 12 mm	 Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	 Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	 Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> - Armado inf. dirección X hacia der: - Armado inf. dirección X hacia izq: - Armado inf. dirección Y hacia arriba: - Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	 Cumple Cumple Cumple Cumple

Referencia: N85		
Dimensiones: 170 x 170 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 12 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 5

Referencia: N14		
Dimensiones: 175 x 175 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0416925 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0561132 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0856413 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 445.1 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 40.6 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 16.01 kN·m	Cumple

Referencia: N14		
Dimensiones: 175 x 175 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- En dirección Y:	Momento: 30.15 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 1.77 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 4.12 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 95.3 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 75 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N14:	Mínimo: 35 cm Calculado: 68 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>	Calculado: 0.0011	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	

Referencia: N14		
Dimensiones: 175 x 175 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 12 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 6

Referencia: (N6 - N88)		
Dimensiones: 190 x 190 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0403191 MPa	Cumple

Referencia: (N6 - N88)		
Dimensiones: 190 x 190 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0401229 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0744579 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 100.9 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 63.5 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 28.37 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 19.93 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 10.79 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 78.1 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>		
	Mínimo: 25 cm Calculado: 75 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N6:	Calculado: 68 cm	Cumple
- N88:	Calculado: 68 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>		
	Calculado: 0.0011	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple

Referencia: (N6 - N88)		
Dimensiones: 190 x 190 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 24 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 24 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 24 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 24 cm Calculado: 28 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 44 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 12 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple

Referencia: (N6 - N88)		
Dimensiones: 190 x 190 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 7

Referencia: N22		
Dimensiones: 195 x 195 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0368856 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0542493 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0713187 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 2385.2 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 66.4 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 17.39 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 39.47 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 6.57 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 17.66 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 94.9 kN/m ²	Cumple

Referencia: N22		
Dimensiones: 195 x 195 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 75 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N22:	Mínimo: 35 cm Calculado: 68 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>	Calculado: 0.0011	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 30 cm	Cumple

Referencia: N22		
Dimensiones: 195 x 195 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 30 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 30 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 12 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 8

Referencia: N62		
Dimensiones: 195 x 195 x 85		
Armados: Xi:Ø12c/13 Yi:Ø12c/13 Xs:Ø12c/13 Ys:Ø12c/13		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0393381 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0572904 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0749484 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 2542.2 %	Cumple

Referencia: N62		
Dimensiones: 195 x 195 x 85		
Armados: Xi:Ø12c/13 Yi:Ø12c/13 Xs:Ø12c/13 Ys:Ø12c/13		
Comprobación	Valores	Estado
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 75.2 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 18.44 kN-m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 42.48 kN-m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 2.65 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 7.46 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 106.5 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 85 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N62:	Mínimo: 60 cm Calculado: 78 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>	Calculado: 0.0011	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple

Referencia: N62		
Dimensiones: 195 x 195 x 85		
Armados: Xi:Ø12c/13 Yi:Ø12c/13 Xs:Ø12c/13 Ys:Ø12c/13		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 12 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 15 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 9

Referencia: N86		
Dimensiones: 200 x 200 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		

Referencia: N86		
Dimensiones: 200 x 200 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0495405 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0448317 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0874071 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 14.9 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 462.7 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 68.49 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 39.30 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 65.83 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 17.76 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 176.5 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>		
	Mínimo: 25 cm Calculado: 75 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N86:	Mínimo: 35 cm Calculado: 68 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.0011 Mínimo: 0.0004	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple

Referencia: N86		
Dimensiones: 200 x 200 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0001	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 15 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 15 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 15 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 18 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 10

Referencia: N19		
Dimensiones: 255 x 255 x 110		
Armados: Xi:Ø16c/18 Yi:Ø16c/18 Xs:Ø16c/18 Ys:Ø16c/18		
Comprobación	Valores	Estado

Referencia: N19		
Dimensiones: 255 x 255 x 110		
Armados: Xi:Ø16c/18 Yi:Ø16c/18 Xs:Ø16c/18 Ys:Ø16c/18		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0879957 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.128903 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.176678 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 910.6 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 9.0 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 60.73 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 213.76 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 0.00 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 120.8 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>		
	Mínimo: 25 cm Calculado: 110 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N19:	Mínimo: 80 cm Calculado: 102 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.0011 Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0004	Cumple

Referencia: N19		
Dimensiones: 255 x 255 x 110		
Armados: Xi:Ø16c/18 Yi:Ø16c/18 Xs:Ø16c/18 Ys:Ø16c/18		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 16 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 18 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 18 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 18 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 16 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 16 cm	Cumple

Referencia: N19		
Dimensiones: 255 x 255 x 110		
Armados: Xi:Ø16c/18 Yi:Ø16c/18 Xs:Ø16c/18 Ys:Ø16c/18		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 16 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 16 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 11

Referencia: N17		
Dimensiones: 275 x 275 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0658251 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0956475 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.131945 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 1324.0 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 33.3 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 59.31 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 206.89 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 41.30 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 162.16 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 161.4 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>		
	Mínimo: 25 cm Calculado: 75 cm	Cumple

Referencia: N17		
Dimensiones: 275 x 275 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N17:	Mínimo: 65 cm Calculado: 68 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado superior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001	Cumple Cumple Cumple Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0011 Mínimo: 0.0003 Mínimo: 0.0007 Mínimo: 0.0001 Mínimo: 0.0002	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> - Parrilla inferior: - Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm Calculado: 15 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> - Armado inf. dirección X hacia der: - Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 15 cm Calculado: 48 cm Calculado: 48 cm	Cumple Cumple

Referencia: N17		
Dimensiones: 275 x 275 x 75		
Armados: Xi:Ø12c/15 Yi:Ø12c/15 Xs:Ø12c/15 Ys:Ø12c/15		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 48 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 48 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 48 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 48 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 48 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 48 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 12

Referencia: N9		
Dimensiones: 275 x 275 x 85		
Armados: Xi:Ø12c/13 Yi:Ø12c/13 Xs:Ø12c/13 Ys:Ø12c/13		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0820116 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0996696 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.16471 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 572.0 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 6.8 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 69.42 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 260.76 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 37.57 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 167.36 kN	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 164.2 kN/m ²	Cumple

Referencia: N9		
Dimensiones: 275 x 275 x 85		
Armados: Xi:Ø12c/13 Yi:Ø12c/13 Xs:Ø12c/13 Ys:Ø12c/13		
Comprobación	Valores	Estado
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 85 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N9:	Mínimo: 75 cm Calculado: 78 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 0.001	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.001	Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>	Calculado: 0.0011	
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0002	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0007	Cumple
- Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.0001	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0002	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
- Parrilla inferior:	Calculado: 12 mm	Cumple
- Parrilla superior:	Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>	Mínimo: 10 cm	
- Armado inferior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección X:	Calculado: 13 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 13 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 15 cm	

Referencia: N9		
Dimensiones: 275 x 275 x 85		
Armados: Xi:Ø12c/13 Yi:Ø12c/13 Xs:Ø12c/13 Ys:Ø12c/13		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 39 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 39 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 40 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 40 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 39 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 39 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 40 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 40 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

Tipo 13

Referencia: N11		
Dimensiones: 280 x 280 x 110		
Armados: Xi:Ø16c/18 Yi:Ø16c/18 Xs:Ø16c/18 Ys:Ø16c/18		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0726921 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.099081 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.145679 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 920.4 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 11.5 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 85.59 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 251.82 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 16.38 kN	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 58.47 kN	Cumple

Referencia: N11		
Dimensiones: 280 x 280 x 110		
Armados: Xi:Ø16c/18 Yi:Ø16c/18 Xs:Ø16c/18 Ys:Ø16c/18		
Comprobación	Valores	Estado
Compresión oblicua en la zapata: - Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE Ingenieros</i>	Máximo: 5000 kN/m ² Calculado: 151.1 kN/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 110 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N11:	Mínimo: 55 cm Calculado: 102 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado superior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001 Calculado: 0.001	Cumple Cumple Cumple Cumple
Cuantía mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Calculado: 0.0011 Mínimo: 0.0002 Mínimo: 0.0004 Mínimo: 0.0001 Mínimo: 0.0002	Cumple Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> - Parrilla inferior: - Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 16 mm Calculado: 16 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 18 cm Calculado: 18 cm Calculado: 18 cm Calculado: 18 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 18 cm Calculado: 18 cm Calculado: 18 cm Calculado: 18 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple

Referencia: N11		
Dimensiones: 280 x 280 x 110		
Armados: Xi:Ø16c/18 Yi:Ø16c/18 Xs:Ø16c/18 Ys:Ø16c/18		
Comprobación	Valores	Estado
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>	Mínimo: 16 cm	
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 22 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 22 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 22 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 22 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Calculado: 22 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Calculado: 22 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 22 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 22 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

3.5.5.9.2. Vigas de atado

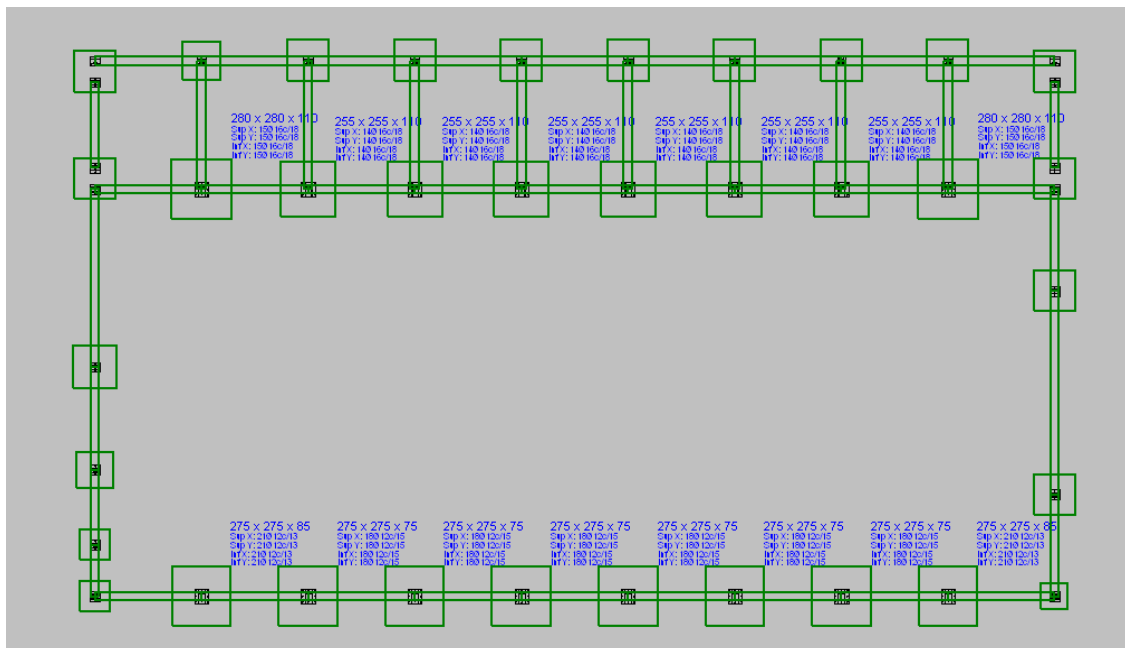


Fig.78. Vigas de atado.

- Descripción

Referencias	Geometría	Armado
C [(N6 - N88)-N14], C [N14-N22], C [N30-N22], C [N30-N38], C [N38-N46], C [N46-N54], C [N54-N62], C [N62-N70], C [N70-(N78 - N84)], C [N73-N65], C [N65-N57], C [N57-N49], C [N49-N41], C [N41-N33], C [N33-N25], C [N25-N17], C [N17-N9], C [N9-N1], C [(N3 - N87)-N11], C [N11-N19], C [N19-N27], C [N27-N35], C [N43-N35], C [N43-N51], C [N51-N59], C [N59-N67] y C [N67-(N75 - N83)]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø20 Inferior: 2Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [(N78 - N84)-(N75 - N83)] y C [(N3 - N87)-(N6 - N88)]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø20 Inferior: 2Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [(N75 - N83)-N82] y C [N81-N73]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø20 Inferior: 2Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [N82-N81]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø20 Inferior: 2Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [N85-N86]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø20 Inferior: 2Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [N86-(N3 - N87)]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø20 Inferior: 2Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [N1-N115]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø20 Inferior: 2Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [N115-N85]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø20 Inferior: 2Ø20 Estribos: 1xØ8c/20
C [N14-N11], C [N22-N19], C [N30-N27], C [N38-N35], C [N46-N43], C [N54-N51], C [N62-N59] y C [N70-N67]	Ancho: 40.0 cm Canto: 40.0 cm	Superior: 2Ø20 Inferior: 2Ø20 Estribos: 1xØ8c/20

- Medición

Referencias: C [(N6 - N88)-N14], C [N14-N22], C [N30-N22], C [N30-N38], C [N38-N46], C [N46-N54], C [N54-N62], C [N62-N70], C [N70-(N78 - N84)], C [N73-N65], C [N65-N57], C [N57-N49], C [N49-N41], C [N41-N33], C [N33-N25], C [N25-N17], C [N17-N9], C [N9-N1], C [(N3 - N87)-N11], C [N11-N19], C [N19-N27], C [N27-N35], C [N43-N35], C [N43-N51], C [N51-N59], C [N59-N67] y C [N67-(N75 - N83)]	B 400 S, Ys=1.15	Tota l	
Nombre de armado	Ø8	Ø20	
Armado viga - Armado inferior	Longitud (m)	2x5.40	10.8
	Peso (kg)	2x13.3	0
		2	26.6
			3

Referencias: C [(N6 - N88)-N14], C [N14-N22], C [N30-N22], C [N30-N38], C [N38-N46], C [N46-N54], C [N54-N62], C [N62-N70], C [N70-(N78 - N84)], C [N73-N65], C [N65-N57], C [N57-N49], C [N49-N41], C [N41-N33], C [N33-N25], C [N25-N17], C [N17-N9], C [N9-N1], C [(N3 - N87)-N11], C [N11-N19], C [N19-N27], C [N27-N35], C [N43-N35], C [N43-N51], C [N51-N59], C [N59-N67] y C [N67-(N75 - N83)]		B 400 S, Ys=1.15		Total
Nombre de armado		Ø8	Ø20	
Armado viga - Armado superior	Longitud (m) Peso (kg)		2x5.44 2x13.4 2	10.8 8 26.8 3
Armado viga - Estribo	Longitud (m) Peso (kg)	17x1.3 3 17x0.5 2		22.6 1 8.92
Totales	Longitud (m) Peso (kg)	22.61 8.92	21.68 53.46	62.3 8
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m) Peso (kg)	24.87 9.81	23.85 58.81	68.6 2
Referencias: C [(N78 - N84)-(N75 - N83)] y C [(N3 - N87)-(N6 - N88)]		B 400 S, Ys=1.15		Total
Nombre de armado		Ø8	Ø20	
Armado viga - Armado inferior	Longitud (m) Peso (kg)		2x4.40 2x10.8 5	8.80 21.7 5
Armado viga - Armado superior	Longitud (m) Peso (kg)		2x4.44 2x10.9 5	8.88 21.9 5
Armado viga - Estribo	Longitud (m) Peso (kg)	17x1.3 3 17x0.5 2		22.6 1 8.92
Totales	Longitud (m) Peso (kg)	22.61 8.92	17.68 43.60	52.5 2
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m) Peso (kg)	24.87 9.81	19.45 47.96	57.7 7
Referencias: C [(N75 - N83)-N82] y C [N81-N73]		B 400 S, Ys=1.15		Total
Nombre de armado		Ø8	Ø20	
Armado viga - Armado inferior	Longitud (m) Peso (kg)		2x5.15 2x12.70	10.30 25.40
Armado viga - Armado superior	Longitud (m) Peso (kg)		2x5.19 2x12.80	10.38 25.60
Armado viga - Estribo	Longitud (m) Peso (kg)	18x1.33 18x0.52		23.94 9.45
Totales	Longitud (m) Peso (kg)	23.94 9.45	20.68 51.00	60.45

Referencias: C [(N75 - N83)-N82] y C [N81-N73]				B 400 S, Ys=1.15	Total
Nombre de armado				Ø8	Ø20
Total con mermas (10.00%)		Longitud (m)	26.33	22.75	66.50
		Peso (kg)	10.40	56.10	
Referencia: C [N82-N81]		B 400 S, Ys=1.15		Total	
Nombre de armado		Ø8	Ø20		
Armado viga - Armado inferior	Longitud (m)		2x9.90	19.80	
	Peso (kg)		2x24.41	48.83	
Armado viga - Armado superior	Longitud (m)		2x9.94	19.88	
	Peso (kg)		2x24.51	49.03	
Armado viga - Estribo	Longitud (m)	39x1.33		51.87	
	Peso (kg)	39x0.52		20.47	
Totales	Longitud (m)	51.87	39.68	118.33	
	Peso (kg)	20.47	97.86		
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	57.06	43.65	130.16	
	Peso (kg)	22.52	107.64		
Referencia: C [N85-N86]		B 400 S, Ys=1.15		Total	
Nombre de armado		Ø8	Ø20		
Armado viga - Armado inferior	Longitud (m)		2x5.20	10.40	
	Peso (kg)		2x12.82	25.65	
Armado viga - Armado superior	Longitud (m)		2x5.24	10.48	
	Peso (kg)		2x12.92	25.85	
Armado viga - Estribo	Longitud (m)	16x1.33		21.28	
	Peso (kg)	16x0.52		8.40	
Totales	Longitud (m)	21.28	20.88	59.90	
	Peso (kg)	8.40	51.50		
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	23.41	22.97	65.89	
	Peso (kg)	9.24	56.65		
Referencia: C [N86-(N3 - N87)]		B 400 S, Ys=1.15		Total	
Nombre de armado		Ø8	Ø20		
Armado viga - Armado inferior	Longitud (m)		2x8.70	17.40	
	Peso (kg)		2x21.46	42.91	
Armado viga - Armado superior	Longitud (m)		2x8.74	17.48	
	Peso (kg)		2x21.55	43.11	
Armado viga - Estribo	Longitud (m)	36x1.33		47.88	
	Peso (kg)	36x0.52		18.89	
Totales	Longitud (m)	47.88	34.88	104.91	
	Peso (kg)	18.89	86.02		
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	52.67	38.37	115.40	
	Peso (kg)	20.78	94.62		
Referencia: C [N1-N115]		B 400 S, Ys=1.15		Total	
Nombre de armado		Ø8	Ø20		
Armado viga - Armado inferior	Longitud (m)		2x2.80	5.60	
	Peso (kg)		2x6.91	13.81	
Armado viga - Armado superior	Longitud (m)		2x2.84	5.68	
	Peso (kg)		2x7.00	14.01	
Armado viga - Estribo	Longitud (m)	6x1.33		7.98	
	Peso (kg)	6x0.52		3.15	
Totales	Longitud (m)	7.98	11.28	30.97	
	Peso (kg)	3.15	27.82		
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	8.78	12.41	34.07	
	Peso (kg)	3.47	30.60		

Referencia: C [N115-N85]		B 400 S, Ys=1.15		Total
Nombre de armado		Ø8	Ø20	
Armado viga - Armado inferior	Longitud (m)		2x3.90	7.80
	Peso (kg)		2x9.62	19.24
Armado viga - Armado superior	Longitud (m)		2x3.94	7.88
	Peso (kg)		2x9.72	19.43
Armado viga - Estribo	Longitud (m)	11x1.33		14.63
	Peso (kg)	11x0.52		5.77
Totales	Longitud (m)	14.63	15.68	
	Peso (kg)	5.77	38.67	44.44
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)	16.09	17.25	
	Peso (kg)	6.35	42.53	48.88

Referencias: C [N14-N11], C [N22-N19], C [N30-N27], C [N38-N35], C [N46-N43], C [N54-N51], C [N62-N59] y C [N70-N67]			B 400 S, Ys=1.15		Total
Nombre de armado			Ø8	Ø20	
Armado viga - Armado inferior	Longitud (m)			2x6.40	12.8
	Peso (kg)			2x15.78	31.57
Armado viga - Armado superior	Longitud (m)			2x6.44	12.88
	Peso (kg)			2x15.88	31.76
Armado viga - Estribo	Longitud (m)	20x1.33			26.60
	Peso (kg)	20x0.52			10.50
Totales	Longitud (m)		26.60	25.68	
	Peso (kg)		10.50	63.33	73.83
Total con mermas (10.00%)	Longitud (m)		29.26	28.25	
	Peso (kg)		11.55	69.66	81.21

Resumen de medición (se incluyen mermas de acero)

Elemento	B 400 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø20	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: C [(N6 - N88)-N14], C [N14-N22], C [N30-N22], C [N30-N38], C [N38-N46], C [N46-N54], C [N54-N62], C [N62-N70], C [N70-(N78 - N84)], C [N73-N65], C [N65-N57], C [N57-N49], C [N49-N41], C [N41-N33], C [N33-N25], C [N25-N17], C [N17-N9], C [N9-N1], C [(N3 - N87)-N11], C [N11-N19], C [N19-N27], C [N27-N35], C [N43-N35], C [N43-N51], C [N51-N59], C [N59-N67] y C [N67-(N75 - N83)]	27x9.81	27x58.81	1852.74	27x0.51	27x0.13
Referencias: C [(N78 - N84)-(N75 - N83)] y C [(N3 - N87)-(N6 - N88)]	2x9.81	2x47.96	115.54	2x0.49	2x0.12
Referencias: C [(N75 - N83)-N82] y C [N81-N73]	2x10.40	2x56.10	133.00	2x0.54	2x0.13

Elemento	B 400 S, $Y_s=1.15$ (kg)			Hormigón (m ³)	
	Ø8	Ø20	Total	HA-25, $Y_c=1.5$	Limpieza
Referencia: C [N82-N81]	22.51	107.65	130.16	1.22	0.30
Referencia: C [N85-N86]	9.24	56.65	65.89	0.47	0.12
Referencia: C [N86-(N3 - N87)]	20.78	94.62	115.40	1.10	0.27
Referencia: C [N1-N115]	3.47	30.60	34.07	0.16	0.04
Referencia: C [N115-N85]	6.34	42.54	48.88	0.31	0.08
Referencias: C [N14-N11], C [N22-N19], C [N30-N27], C [N38-N35], C [N46-N43], C [N54-N51], C [N62-N59] y C [N70-N67]	8x11.55	8x69.66	649.68	8x0.60	8x0.15
Totales	460.03	2685.33	3145.36	23.80	5.95

- Comprobación

Referencia: C.3.2 [(N6 - N88)-N14] (Viga de atado) -Dimensiones: 40.0 cm x 40.0 cm -Armadura superior: 2Ø20 -Armadura inferior: 2Ø20 -Estribos: 1xØ8c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo estribos:	Mínimo: 6 mm Calculado: 8 mm	Cumple
Separación mínima entre estribos: <i>Artículo 69.4.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 3.7 cm Calculado: 19.2 cm	Cumple
Separación mínima armadura longitudinal: <i>Artículo 69.4.1 de la norma EHE-08</i> - Armadura superior: - Armadura inferior:	Mínimo: 3.7 cm Calculado: 24.4 cm Calculado: 24.4 cm	Cumple Cumple
Separación máxima estribos: - Situaciones persistentes: <i>Artículo 44.2.3.4.1 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 24.9 cm Calculado: 20 cm	Cumple
Separación máxima armadura longitudinal: <i>Artículo 42.3.1 de la norma EHE-08</i> - Armadura superior: - Armadura inferior:	Máximo: 30 cm Calculado: 24.4 cm Calculado: 24.4 cm	Cumple Cumple
Cuantía mínima para los estribos: - Situaciones persistentes: <i>Norma EHE-08. Artículo 44.2.3.4.1</i>	Mínimo: 3.93 cm ² /m Calculado: 5.02 cm ² /m	Cumple

Referencia: C.3.2 [(N6 - N88)-N14] (Viga de atado) -Dimensiones: 40.0 cm x 40.0 cm -Armadura superior: 2Ø20 -Armadura inferior: 2Ø20 -Estribos: 1xØ8c/20		
Comprobación	Valores	Estado
Cuantía geométrica mínima armadura traccionada: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>	Mínimo: 0.0033	
- Armadura inferior (Situaciones persistentes):	Calculado: 0.0039	Cumple
- Armadura superior (Situaciones persistentes):	Calculado: 0.0039	Cumple
Armadura mínima por cuantía mecánica de flexión compuesta: <i>Se aplica la reducción del artículo 42.3.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 0.11 cm ²	
- Armadura inferior (Situaciones persistentes):	Calculado: 6.28 cm ²	Cumple
- Armadura superior (Situaciones persistentes):	Calculado: 6.28 cm ²	Cumple
Comprobación de armadura necesaria por cálculo a flexión compuesta: Situaciones persistentes:	Momento flector: 0.79 kN·m Axil: ± 0.00 kN Momento flector: -0.79 kN·m Axil: ± 0.00 kN	Cumple Cumple
Longitud de anclaje barras superiores origen: - Situaciones persistentes: <i>El anclaje se realiza a partir del eje de los pilares</i>	Mínimo: 22 cm Calculado: 22 cm	Cumple
Longitud de anclaje barras inferiores origen: - Situaciones persistentes: <i>El anclaje se realiza a partir del eje de los pilares</i>	Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple
Longitud de anclaje barras superiores extremo: - Situaciones persistentes: <i>El anclaje se realiza a partir del eje de los pilares</i>	Mínimo: 22 cm Calculado: 22 cm	Cumple
Longitud de anclaje barras inferiores extremo: - Situaciones persistentes: <i>El anclaje se realiza a partir del eje de los pilares</i>	Mínimo: 20 cm Calculado: 20 cm	Cumple
Comprobación de cortante: - Situaciones persistentes:	Cortante: 1.32 kN	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

3.6. SOLERA

La solera es el cerramiento horizontal interior, compuesto por una capa resistente de hormigón en masa cuya superficie suele incluir un revestimiento de acabado. Están destinados a proporcionar un firme horizontal en determinadas zonas de las edificaciones, ya sea como acabado definitivo o como base para recibir otro tipo de pavimentos.

La solera se apoya en la capa superior del terreno natural, sobre la que se implanta la capa de pailiteno encargada de, por un lado, permitir el libre movimiento de la masa de hormigón sobre el soporte, reduciendo el rozamiento entre ambas capas y por otro lado evitar la pérdida de lechada de la masa de hormigón y el posible ascenso de humedades de capilaridad

En general debe cumplir las siguientes exigencias técnicas:

- Aislamiento térmico
- Aislamiento a ruido aéreo
- Aislamiento a ruido de impactos
- Retraso del fuego
- Impermeabilización
- Resistencia

3.6.1. Diseño de la solera

La solera se diseña de acuerdo a la normativa recogida en el NTE-RSS. De acuerdo con la normativa se distingue el tipo de solera empleada, en este caso, se trata de una solera semipesada (RSS-5).

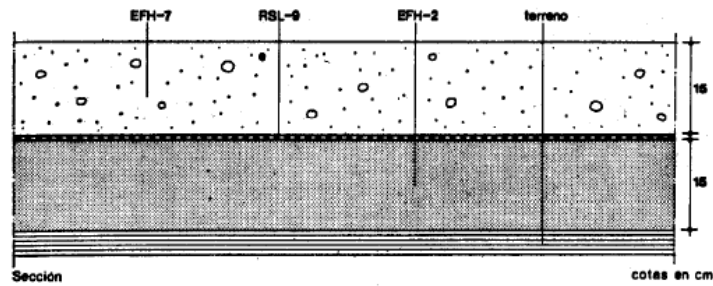
Este tipo de solera se emplea en locales con una sobrecarga estática máxima prevista de 5 t/m^2 y en locales con previsión de circulación de vehículos de hasta 2,5 toneladas por eje.

Además, se dispone de juntas de retracción formando una cuadrícula de lado no mayor de 6 m y juntas de contorno para aislar la solera de otros elementos estructurales como pilares o bloques de cimentación.

Las especificaciones de las soleras semipesadas son las siguientes:

La solera está formada por una capa de 15 cm de arena de río y otra capa de hormigón de resistencia característica de 175 kg/cm^2 de la misma anchura que la anterior, ambas separadas por una lámina aislante de polietileno.

RSS-5 Solera semipesada

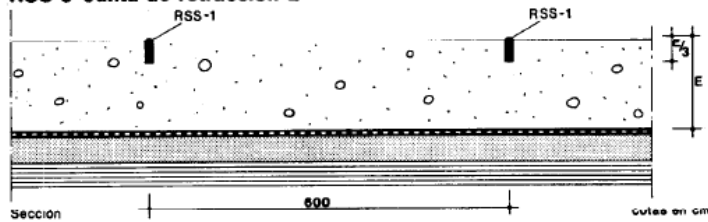


- EFH- 2 Arena de río, con tamaño máximo de grano 0,5 cm formando una capa de 15 cm de espesor, extendida sobre terreno compactado mecánicamente hasta conseguir un valor del 85 % del Próctor Normal. Se terminará enrasándola previo compactado en dos capas.
- RSL- 9 Lámina aislante de polietileno.
- EFH- 7 Hormigón de resistencia característica 175 kg/cm² formando una capa de 15 cm de espesor, extendido sobre la lámina aislante. La superficie se terminará mediante reglado. El curado se realizará mediante riego que no produzca desecado.

Fig.79. Normativa NTE-RSS.

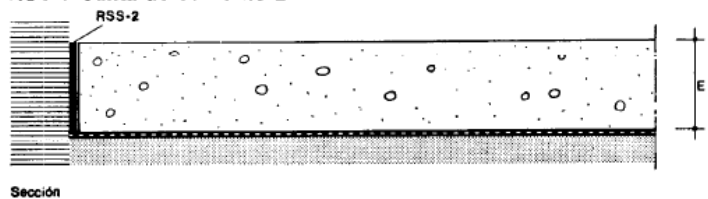
A continuación, se muestran las juntas de contorno y de retracción de las que debe disponer la solera.

RSS-8 Junta de retracción-E



- RSS- 1 Sellante de juntas, introducido en un cajeadado previsto o realizado posteriormente a máquina, en la capa de hormigón. La junta tendrá un espesor comprendido entre 0,5 y 1 cm, y una profundidad de 1/3 del espesor E de la capa de hormigón.

RSS-9 Junta de contorno-E



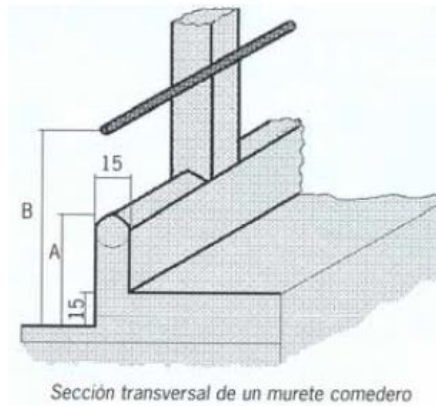
- RSS- 2 Separador. Se colocará, alrededor de cualquier elemento que interrumpa la solera como pilares y muros, antes de verter el hormigón. El separador tendrá una altura igual al espesor E de la capa de hormigón.

Fig.80. Juntas de la solera.

3.7. TABIQUERÍA INTERIOR

Los tabiques interiores se encargan de distribuir el espacio interior según su disposición, carecen de capacidad portante y únicamente soportan su peso propio.

En este caso, la distribución se hace en función de la disposición de los elementos requeridos en una estabulación, tales como cubículos, comederos, bebederos etc. Son tabiques de hormigón armado de pocos cm de altura.



Además, también se emplean para separar la zona de ordeño de la zona de estabulación del ganado, sin requerimientos de aislamiento o de otro tipo. Estos tabiques están contruidos mediante bloques de hormigón y tienen una anchura de 10cm y llegan a una altura de 3,5m.

Los bloques utilizados para su construcción son los mostrados a continuación:



Fig.81. Bloque de hormigón para tabiques.

3.8. FOSA DE PURINES

En una estabulación ganadera es imprescindible disponer de una fosa para el almacenaje de los purines generados por el ganado, ya que constituyen la mayor parte de los residuos generados en la misma. Se trata de almacenar las eyecciones generadas para garantizar la higiene del ganado y de as instalaciones.

Para ello se aplica un Plan de gestión de estiércol, en el que se especifica la necesidad de una prefosa para la recepción del estiércol antes de la canalización hasta la fosa de almacenamiento.

La fosa está ubicada en la parte trasera de la nave. Los purines son arrastrados hacia esa parte de la estabulación mediante un sistema de arrastre automático formado por dos palas de arrastre, dispuestas en ambos pasillos de la misma.

De esta manera, se cuenta con dos prefosas en la parte final de cada pasillo de arrastre. Una de ellas tiene 3,5 m de ancho, mientras que la otra es de 4,3 m. Ambas tienen una profundidad de 1 m y una largura de 2 m.

La fosa de purines está alimentada mediante un sistema de canalización a través del cual se transportan las deyecciones desde las dos prefosas. Esta canalización está formada por dos tubería de PVC de 500 mm de diámetro.

Para realizar el cálculo de las cargas a las que está sometida la fosa se siguen los criterios del libro Hormigón armado de Jimenez Montoya.

3.8.1. Consideraciones generales

Los depósitos de planta rectangular se emplean en obras de pequeña y mediana importancia pudiendo clasificarse según su sustentación o según el número de vasos de que consten.

Según la sustentación se clasifican en:

- *Enterrados*
- *Apoyados sobre el suelo*
- *Elevados*

Según el número de vasos:

- *Unicelulares*
- *Multicelulares*

En este caso se trata de un depósito enterrado y unicelular.

El material utilizado para ello será el hormigón armado que constituye una solución idónea para la construcción de muchos tipos de depósitos por su facilidad de moldeado, bajo coste, durabilidad y mantenimiento económico.

Sera preciso emplear hormigones impermeables y controlar su fisuración mediante un diseño y armado convenientes.

3.8.2. Diseño del depósito

Para el diseño hay que considerar varios factores relacionados con la naturaleza del líquido almacenado, con el tipo de terreno de cimentación, tamaño del depósito, materiales disponibles y con las condiciones de exposición.

a) Líquido contenido:

En este caso el contenido es estiércol lo que puede afectar a la durabilidad del hormigón, por ello, es necesario disponer de revestimientos adecuados. En cualquier caso, la mejor garantía de durabilidad radica en la compactación de los hormigones, para lo cual deben emplearse dosificaciones ricas en cemento, con baja relación agua/cemento y una buena compactación de la masa.

b) Terreno de cimentación:

Es importante un terreno con características uniformes para evitar posibles asentamientos diferenciales, para ello es necesario efectuar un estudio previo del subsuelo con el objetivo de recabar los datos necesarios para un cálculo adecuado de la cimentación y para una eventual protección frente a químicos agresivos.

En este caso, al estar el depósito enterrado, se realiza el estudio de la capa freática del terreno. En el caso de que esta sea alta, se dimensiona el depósito para evitar la flotación del mismo.

Se construye el depósito en un terreno sin capa freática.

c) Organización estructural del vaso del depósito:

Para pequeños depósitos el vaso se organiza mediante una estructura monolítica formada por placas empotradas entre sí. Para grandes superficies de fondo la solera se independiza de las paredes mediante una junta perimetral

además de otras juntas que limiten las longitudes de los distintos elementos de que consta el depósito.

En este caso se trata de un depósito monolítico.

En los depósitos de hormigón armado sometidos a alternancia de humedad-sequedad, heladas o agentes agresivos la abertura máxima de las fisuras debe limitarse a $w=0,1$ mm. Para depósitos permanentemente sumergidos se admite $w= 0,2$ mm.

No se tienen en cuenta las acciones térmicas o reológicas si las distancias máximas entre juntas no superan los siguientes límites:

Enterrados

Dilatación: 25- 30 m

Contracción: 7,5 m

Apoyados poco expuestos

Dilatación: 15- 25 m

Contracción: 7,5 m

Apoyados muy expuestos

Dilatación: 10- 15 m

Contracción: 5-7 m

En cualquier caso, deben disponerse las armaduras mínimas especificadas por la normativa para muros. En ningún caso podrá dejarse de lado la consideración de las acciones de carácter especial.

Haciendo un análisis específico que tenga en cuenta adecuadamente las acciones térmicas ambientales y las reológicas, pueden evitarse las juntas de dilatación. En este caso será necesario hacer un análisis específico de la fisuración de elementos sometidos a deformaciones impuestas y tener en cuenta las consideraciones de armadura mínima del Eurocódigo o de Jaccoud.

d) Materiales empleados:

Dos factores importantes a la hora de construir estos depósitos son la estanqueidad y durabilidad. Por lo que se deben escoger los materiales adecuados.

Los hormigones deben ser compactos y de buena calidad, con una resistencia mínima de 30 N/mm². Para las armaduras puede emplearse acero B 500 SD, controlando que la tensión no supere los 400N/mm² para evitar deformaciones excesivas y preferiblemente en mallas electrosoldadas, cuya aplicación a este tipo de estructuras esta especialmente indicada.

3.8.3. Acciones sobre los depósitos

Para realizar el cálculo del depósito se tienen en cuenta diferentes acciones actuantes como el empuje de tierras, la presión hidrostática u otras sobrecargas eventuales.

En el caso de depósitos enterrados como este, as hipótesis de carga son:

- Empuje de tierras con el depósito vacío.
- Presión hidrostática del líquido sin empuje de tierras.
- Otras sobrecargas con depósito vacío.
- Empuje de tierras

Lo primero es determinar los esfuerzos que aparecen en las paredes, debidos al empuje del terreno. Cuando el depósito no tiene cubierta, se considera que sobre las paredes actúa el empuje activo del terreno.

Cuando se construye el depósito sin capa freática, el terreno debe introducirse como si se tratase de una placa apoyada en un medio elástico, por lo que hay que modelizar el terreno mediante un coeficiente de balasto KN/m³.

- Presión hidrostática del líquido sin empuje de tierras

Se determinara los esfuerzos de las paredes exteriores del deposito bajo la acción de la carga hidrostática del líquido contenido, sin considerar los empujes del terreno.

Para las acciones sobre la solera como se considera que no hay tierras alrededor del muro, no se supone subpresión sobre la losa.

- Otras sobrecargas con deposito vacío

Para el caso de depósitos enterrados se considerarán también las acciones de sobrecargas que puedan existir. Se efectuará un estudio de la simultaneidad de cargas más desfavorables.

3.8.4. Dimensionamiento de depósitos de planta rectangular

A la hora de dimensionar los depósitos se determinan espesores de paredes constantes para facilitar la ejecución y de modo que no sea necesaria la armadura transversal.

Para una altura de agua $h \leq 6$ m puede adoptarse como espesor de pared $e = 0,1 \cdot h$, no inferior a 0,2 m. Para el depósito a dimensionar se considera un espesor $e = 0,4$ m. El espesor de la solera debe ser superior al de las paredes, por lo que el espesor de solera $e' = 0,45$ m.

Las paredes de los depósitos se calculan como placas rectangulares sometidas a cargas triangulares, con la sustentación que corresponda al diseño. Por lo que será necesario determinar las leyes de momentos flectores y las reacciones en los apoyos.

Para calcular los esfuerzos se efectúan dos hipótesis de carga: con depósito vacío y con depósito lleno.

Una vez determinados los esfuerzos de las placas se procede al cálculo de las armaduras.

- Determinación de los momentos flectores

Se consideran las placas con el borde superior de las paredes libre y como empotradas entre sí.

De la tabla de esfuerzos y flechas en placas laterales se indican los esfuerzos por unidad de longitud y la flecha máxima correspondientes a las placas laterales del depósito, en función de la máxima presión hidrostática, $q = \delta \cdot h$ ó el empuje de tierras, $q = 1/3 \cdot h \cdot \delta_t$ (siendo $\delta_t = 18 \text{ KN/m}^3$). De aquí se obtienen los esfuerzos unitarios de servicio más desfavorables.

- Determinación de los esfuerzos de tracción

Puede admitirse que el esfuerzo de tracción total, que se origina en las paredes y en el fondo del ó como consecuencia de la presión hidrostática se distribuyen entre las dos paredes y el fondo según unos porcentajes indicados en la tabla de esfuerzos de tracción y valores de β .

- Comprobación a cortante

Las paredes de los depósitos se dimensionan de modo que no necesiten armadura transversal. La comprobación se efectúa mediante la condición para elementos superficiales sin armadura transversal.

- Comprobación a fisuración y cálculo de las armaduras

Esta comprobación constituye el principal problema a la hora de realizar el cálculo de las paredes de los depósitos. Para realizarla se deben seguir las prescripciones del método del Estado Límite de Fisuración.

Existen unos valores admisibles de anchura límite, basados en las relaciones entre la altura de agua y el espesor de pared, con las que se pretende garantizar un flujo nulo de agua.

Para casos ordinarios se considera como anchura máxima para las fisuras de $w=0,1$ mm en referencia a los depósitos expuestos a alternancia de humedad-sequedad o a acciones agresivas. En cambio, para depósitos permanentemente sumergidos se considera una anchura máxima de $w= 0,2$ mm.

La anchura de las fisuras se determina a flexión simple dado que los esfuerzos de tracción son relativamente pequeños.

- Comprobación en rotura

La comprobación en rotura se puede efectuar mediante tablas o escalas funcionales ó bien mediante formulación.

- Organización de las armaduras y cuantías mínimas

Como armaduras pueden emplearse mallas electrosoldadas o barras corrugadas de diámetros normalizadas con una separación no superior a 30 cm, ni superior al espesor de la placa ni superior a $\varnothing 15$.

Los encuentros de dos paredes y de pared con solera son nudos que se abren y deben armarse con precaución.

Las cuantías geométricas de las armaduras deberán tener un valor mínimo para prevenir las posibles fisuras debidas a la retracción y a las variaciones de temperatura. Generalmente se pueden adoptar los siguientes valores:

- Para $w = 0,1 \text{ mm}$, $\rho_{\min} = 0,002$
- Para $w = 0,2 \text{ mm}$, $\rho_{\min} = 0,0015$

3.8.5. Cálculo de las cargas

Una vez analizado el depósito a dimensionar, se procede al cálculo del mismo partiendo de los siguientes datos iniciales:

- Espesores: $e = 0,4\text{m}$
 $e' = 0,45\text{m}$
- Dimensiones: $a = 8\text{m}$
 $b = 8\text{m}$
 $h = 4\text{m}$

Las armaduras de flexión se determinan por consideraciones de figuración y los datos se obtienen de la tabla de esfuerzos y flechas en placas laterales. Al tratarse de un depósito cuadrado en las 4 paredes aparecen los mismos esfuerzos.

- Armadura vertical del empotramiento de la pared $b \times h$:

$$h/b = 4/8 = 0,5 \rightarrow \alpha = 0,092$$

$$M_{ve} = 0,092 \cdot 12 \cdot 4^3 = 70,656 \text{ mKN/m}$$

- Armadura horizontal de empotramiento de la pared $b \times h$:

$$h/b = 0,5 \rightarrow \alpha = 0,05$$

$$M_{he} = 0,05 \cdot 12 \cdot 4^3 = 38,4 \text{ mKN/m}$$

- Armaduras inferiores de la placa de fondo:

Se determinan suponiendo el depósito, vacío en función del peso unitario de la pared $p=35 \text{ KN/m}$.

$$M_{ae} = 0,1 \cdot 35 \cdot (8+8) = 56 \text{ KNm/m}$$

- Armaduras superiores de la placa de fondo:

Se determinan a partir de los momentos de empotramiento de los arranques de las paredes correspondientes, con depósito lleno.

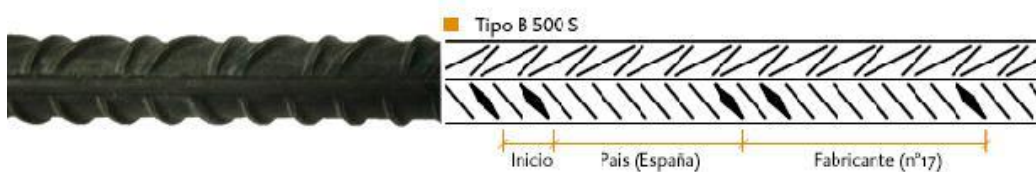
$$M_{ae} = M_{ve} = 70,656 \text{ KNm/m}$$

3.8.6. Estudio en Prontuario Informático de Hormigón armado

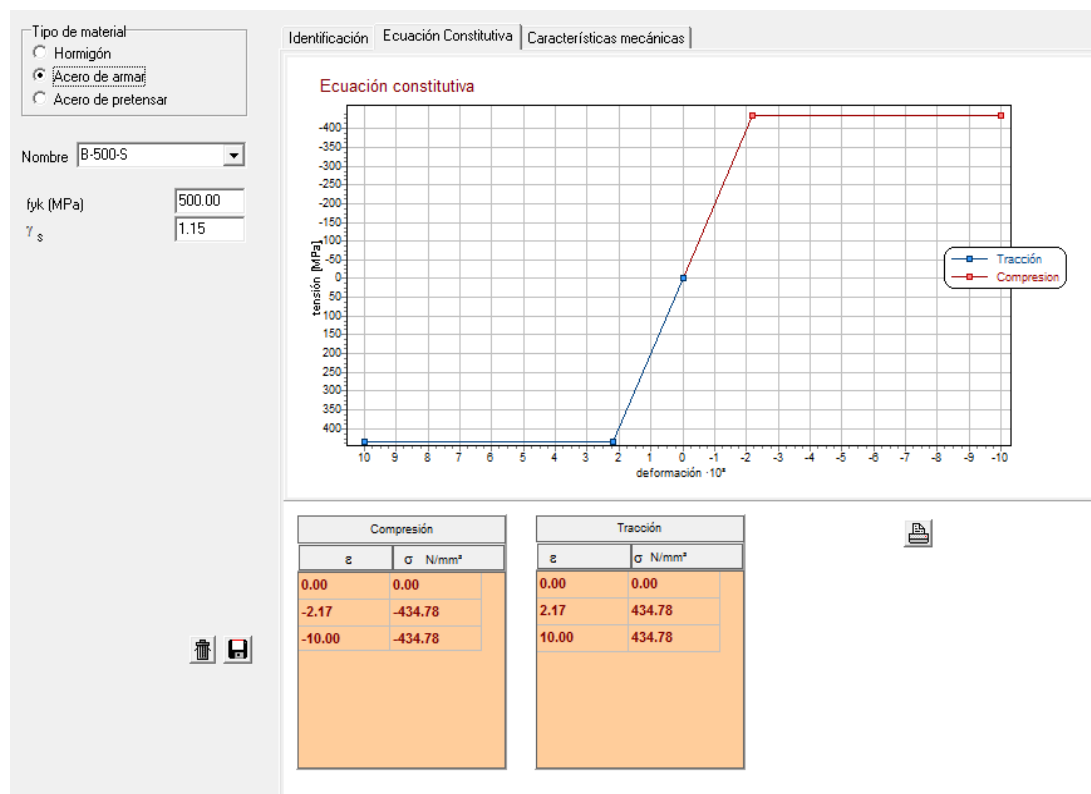
Para el cálculo del foso y de las armaduras de las que dispone se ha utilizado el programa “Prontuario Informático del Hormigón Estructural EHE-08”. Mediante esta herramienta se calculan las armaduras de acero a partir de los parámetros anteriormente establecidos.

- Materiales:

Identificación: Acero B500S



Ecuación constitutiva



Características mecánicas

Tipo de acero		Acero soldable		Acero soldable con características especiales de ductilidad	
Designación		B400S	B500S	B400SD	B500SD
Límite elástico, f_y (N/mm ²)		>= 400	>= 500	>= 400	>= 500
Carga unitaria de rotura, f_s (N/mm ²)		>= 440	>= 550	>= 480	>= 575
Alargamiento de rotura ϵ_{u5} (%)		>= 14	>= 12	>= 20	>= 16
Alargamiento total bajo carga máxima ϵ_{max} (%)	Acero suministrado en barra	>= 5	>= 5	>= 7.5	>= 7.5
	Acero suministrado en rollo	>= 7.5	>= 7.5	>= 10	>= 10
Relación f_s/f_y		>= 1.05	>= 1.05	1.20 <= f_s/f_y <= 1.35	1.15 <= f_s/f_y <= 1.35
Relación $f_y(\text{real})/f_y(\text{nominal})$		-----	-----	<= 1.20	<= 1.25

Condiciones de adherencia			
Geometría de las Corrugas (UNE EN 10080)			
ϕ [mm]	h [mm]	c [mm]	β [°]
6	0.18 a 0.90	2.4 a 7.2	35 a 75
8	0.24 a 1.20	3.2 a 9.6	35 a 75
10	0.30 a 1.50	4.0 a 12.0	35 a 75
12	0.36 a 1.80	4.8 a 14.4	35 a 75
14	0.42 a 2.10	5.6 a 16.8	35 a 75
16	0.48 a 2.40	6.4 a 19.2	35 a 75
20	0.60 a 3.00	8.0 a 24.0	35 a 75
25	0.75 a 3.75	10.0 a 30.0	35 a 75
32	0.96 a 4.80	12.8 a 38.4	35 a 75
40	1.20 a 6.00	16.0 a 48.0	35 a 75

Ensayo de doblado / desdoblado	
ϕ [mm]	Diámetro de los mandriles [mm]
6	30
8	40
10	50
12	60
14	70
16	80
20	160
25	200
32	320
40	400

- Secciones:

Características de la sección

Se estudia un tramo de 1m de la placa.

Tipo de Sección

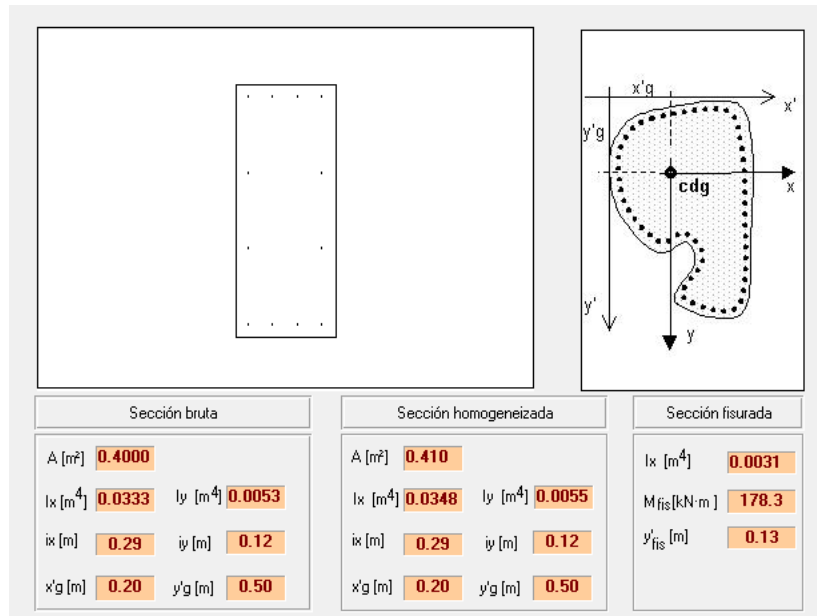
Rectangular áreas
 Rectangular redondos
 T
 Circular
 Genérica
 Genérica armaduras adicionales

Sección: FOSAPURIN
 Hormigón: HA-25
 Acero Pasivo: B-500-S

b [m]: 0.4000 h [m]: 1.0000
 r [m]: 0.0500
 nh: 4 nv: 4

ϕ [mm]: 12

Características mecánicas



Condiciones de durabilidad

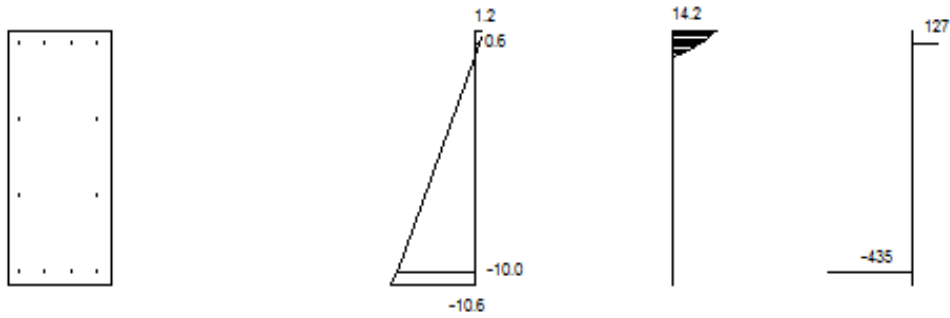
Consistencia: Plástica D max del árido [mm]: 20 Clase general de exposición: IIa Clase específica de exposición: --- Tipo de Cemento:	Tipificación del hormigón: HA-25 / P / 20 / IIa Requisitos generales: Recubrimiento nominal r [*] nom [mm]: 25.0 Máxima relación agua cemento: 0.60 Mínimo contenido de cemento [Kg/m³]: 300.0 Resistencia mínima compatible [MPa]: 25.0 (* No inferior al diámetro de las armaduras principales) (* No inferior al 0.80 D max)
Nivel de control de ejecución: <input type="radio"/> Prefabricados, control intenso <input checked="" type="radio"/> In situ, control intenso <input type="radio"/> Resto de casos Tipo de elemento estructural: <input type="radio"/> Elemento armado <input checked="" type="radio"/> Elemento pretensado Vida útil: <input checked="" type="radio"/> 50 años <input type="radio"/> 100 años	Requisitos adicionales: Contenido mínimo de aire ocluido [%]: --- Máximo contenido de cemento [Kg/m³]: --- Atención a la reactividad álcali árido (Art. 37.3.7)

- E.L.U. - Flexión compuesta recta

En esta sección se introducen los momentos actuantes para que el prontuario proporcione las armaduras óptimas para cada sector del depósito:

Md= 70,656 KNm/m

Comprobación



Dimensionamiento

Para el momento flector máximo actuante se obtiene como resultado un diámetro mínimo de 14 mm para las barras corrugadas.

SECCIÓN	DEFORMACIONES · 10 ⁻³	TENSIONES MPa	
Plano de deformación de agotamiento y Mu			
x [m]	ε _s · 10 ⁻³	Mu [kN·m]	Cuantía mínima
0.119	1.4	364.5	φ _{est} [mm]
1/r [km ⁻¹]	ε _i · 10 ⁻³	Nu [kN·m]	13.0
12.0	-10.6	-0.0	φ [mm]
Deformación y tensión de armaduras extremas			
A [cm ²]			14.00
18.5			
Deformación y tensión de armaduras extremas			
Profundidad (m)	Deformación · 10 ⁻³	Tensión [MPa]	
0.050	0.8	-166.8	
0.950	-10.0	434.8	
Nd [kN]	Md [kN·m]		
0	70.656		

Para facilitar el montaje se considera que las armaduras sean de 14 mm de diámetro tanto en las paredes como en el fondo del depósito:

Propuesta armadura dimensionamiento

A _{est} [cm ²]	φ _{est} [mm]	A [cm ²]	φ [mm]	Nu [kN]	Mu [kN·m]
16.0	13.0	18.5	14.00	-0.0	364.5

Armaduras depósito: ø 14

3.9. FOSA DE ORDEÑO

Se trata de un depósito rectangular de hormigón armado dispuesto en el interior de la nave, formando parte de la estructura de la sala de ordeño del ganado. Se trata de un foso excavado y está destinado para albergar a la persona encargada de realizar dicha tarea, por lo que es un depósito permanentemente vacío.

Sus dimensiones son las dimensiones requeridas para la posterior instalación de la sala de ordeño, concretamente del tipo espina de pescado que alberga 6 unidades de ganado simultáneamente.

Debido a estas características, el depósito presenta menores esfuerzos actuantes, ya que únicamente se considera el empuje de tierras con depósito vacío.

El depósito cuenta con un desagüe en la parte inferior para extraer el agua que se emplea durante el ordeño en las diferentes tareas de lavado que se realizan. El agua empleada es una cantidad mínima, por lo que se dispone de una tubería de PVC de 20mm de diámetro.

Su cálculo se realiza de manera análoga al depósito exterior, mediante el Prontuario de Hormigón Estructural.

3.9.1. Cálculo de las cargas

Una vez analizado el depósito a dimensionar, se procede al cálculo del mismo partiendo de los siguientes datos iniciales:

- Espesores: $e = 0,2\text{m}$
 $e' = 0,3\text{m}$
- Dimensiones: $a = 2,5\text{m}$
 $b = 5,3\text{m}$
 $h = 0,95\text{m}$

Las armaduras de flexión se determinan por consideraciones de figuración y los datos se obtienen de la tabla de esfuerzos y flechas en placas laterales.

- Armadura vertical del empotramiento de la pared mayor $b \times h$:

$$h/b = 0,95/5,3 = 0,179 \rightarrow \alpha = 0,137$$

$$M_{ve} = 0,137 \cdot 5,7 \cdot 0,95^3 = 0,705 \text{ mKN/m}$$

- Armadura horizontal de empotramiento de la pared mayor b x h:

$$h/b = 0,95/5,3 = 0,179 \rightarrow \alpha = 0,06$$

$$M_{he} = 0,06 \cdot 5,7 \cdot 0,95^3 = 0,308 \text{ mKN/m}$$

- Armadura vertical del empotramiento de la pared menor a x h:

$$h/b = 0,95/2,5 = 0,38 \rightarrow \alpha = 0,120$$

$$M_{ve} = 0,120 \cdot 5,7 \cdot 0,95^3 = 0,617 \text{ mKN/m}$$

- Armadura vertical del empotramiento de la pared menor a x h:

$$h/b = 0,95/2,5 = 0,38 \rightarrow \alpha = 0,055$$

$$M_{ve} = 0,055 \cdot 5,7 \cdot 0,95^3 = 0,2829 \text{ mKN/m}$$

- Armaduras inferiores de la placa de fondo:

Se determinan suponiendo el depósito, vacío en función del peso unitario de la pared $p = 26,25 \text{ KN/m}$.

$$M_{ae} = 0,1 \cdot 26,25 \cdot (2,5+5,3) = 20,47 \text{ KNm/m}$$

$$M_{be} = 0,1 \cdot 26,25 \cdot (2,5+5,3) \cdot (2,5/5,3) = 9,65 \text{ KNm/m}$$

- Armaduras superiores de la placa de fondo:

Se determinan a partir de los momentos de empotramiento de los arranques de las paredes correspondientes, con depósito lleno.

$$M_{ae} = M_{ve} = 0,705 \text{ KNm/m}$$

$$M_{be} = M_{ve} = 0,617 \text{ KNm/m}$$

3.9.2. Estudio en Prontuario Informático de Hormigón armado

Mediante el prontuario se calculan las armaduras de acero a partir de los parámetros anteriormente establecidos.

- Materiales:

Al igual que en el foso de purín, se emplea un Acero B500S.

- Secciones:

Características de la sección

Se estudia un tramo de 1m de la placa.

Tipo de Sección

Rectangular áreas

Rectangular redondos

T

Circular

Genérica

Genérica armaduras adicionales

Sección: FDSAIINT

Hormigón: HA-25

Acero Pasivo: B-500-S

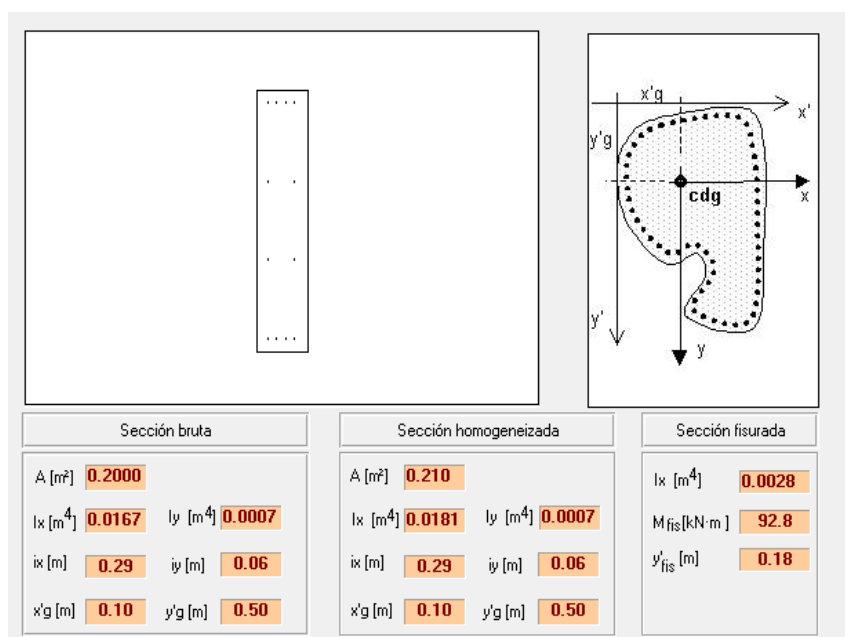
b [m]: 0.2000 h [m]: 1.0000

r [m]: 0.0500

nh: 4 nv: 4

φ [mm]: 12

Características mecánicas



Condiciones de durabilidad

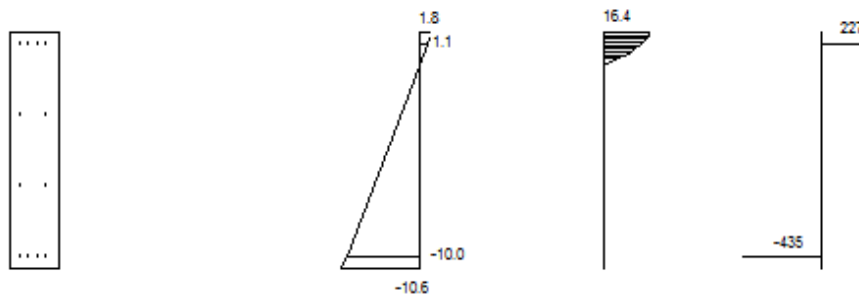
Las condiciones de durabilidad son análogas a las del depósito anteriormente calculado.

- E.L.U. - Flexión compuesta recta

En esta sección se introducen los momentos actuantes para que el prontuario proporcione las armaduras óptimas para cada sector del depósito:

$M_d = 20,47 \text{ KNm/m}$

Comprobación



Dimensionamiento

Para el momento flector máximo actuante se obtiene como resultado un diámetro mínimo de 12 mm para las barras corrugadas.

Comprobación | Dimensionamiento | Diagrama de Interacción

SECCIÓN	DEFORMACIONES · 10 ⁻³	TENSIONES MPa
Plano de deformación de agotamiento y Mu		
x [m] 0.142	$\epsilon_s \cdot 10^{-3}$ 1.8	Mu [kN·m] 265.0
1/r [km ⁻¹] 12.4	$\epsilon_i \cdot 10^{-3}$ -10.6	Nu [kN·m] -0.0
		A [cm ²] 13.6
Deformación y tensión de armaduras extremas		
Profundidad [m]	Deformación · 10 ⁻³	Tensión [MPa]
0.050	1.1	-226.7
0.950	-10.0	434.8
Nd [kN] <input type="text" value="0"/>	Md [kN·m] <input type="text" value="20.47"/>	

Para facilitar el montaje se considera que las armaduras sean de 12 mm de diámetro tanto en las paredes como en el fondo del depósito:

Propuesta armadura dimensionamiento					
A_{est} [cm ²]	ϕ_{est} [mm]	A [cm ²]	ϕ [mm]	Nu [kN]	Mu [kN·m]
8.0	9.2	13.6	12.00	-0.0	265.0

Armaduras depósito: ϕ 12

3.10. REDES DE EVACUACIÓN DE AGUAS

En toda construcción es necesario un conjunto de estructuras y tuberías usado para la recogida y transporte de las aguas. Para proyectar las dimensiones de los elementos que constituyen las redes de evacuación de aguas se utilizará la normativa CTE-DB HS.

3.10.1. Especificación de exigencias

Este documento, en su sección HS 5: Evacuación de aguas, establece los siguientes criterios que deben cumplir las instalaciones de saneamiento:

- 1- *Deben disponerse cierres hidráulicos en la instalación que impidan el paso del aire contenido en ella a los locales ocupados sin afectar al flujo de residuos.*
- 2- *Las tuberías de la red de evacuación deben tener el trazado más sencillo posible, con unas distancias y pendientes que faciliten la evacuación de los residuos y ser autolimpiables. Debe evitarse la retención de aguas en su interior.*
- 3- *Los diámetros de las tuberías deben ser los apropiados para transportar los caudales previsibles en condiciones seguras.*
- 4- *Las redes de tuberías deben diseñarse de tal forma que sean accesibles para su mantenimiento y reparación, para lo cual deben disponerse a la vista o alojadas en huecos o patinillos registrables.*

- 5- *En caso contrario deben contar con arquetas o registros.*
- 6- *Se dispondrán sistemas de ventilación adecuados que permitan el funcionamiento de los cierres hidráulicos y la evacuación de gases mefíticos.*
- 7- *La instalación no debe utilizarse para la evacuación de otro tipo de residuos que no sean aguas residuales o pluviales.*

3.10.2. Componentes de la instalación

- Cierres hidráulicos

Pueden ser:

- *Sifones individuales, propios de cada aparato.*
- *Botes sifónicos, para varios aparatos.*
- *Sumideros sifónicos*

- *Arquetas sifónicas, situadas en los encuentros de los conductos enterrados de aguas pluviales y residuales.*

Deben cumplir las siguientes características:

- *Deben ser autolimpiables, de tal forma que el agua que los atraviese arrastre los sólidos en suspensión.*
- *Sus superficies interiores no deben retener materias sólidas.*
- *No deben tener partes móviles que impidan su correcto funcionamiento*
- *Deben tener un registro de limpieza fácilmente accesible y manipulable*

- *La altura mínima de cierre hidráulico debe ser 50 mm, para usos continuos y 70 mm para usos discontinuos. La altura máxima debe ser 100 mm. La corona debe estar a una distancia igual o menor que 60 cm por debajo de la válvula de desagüe del aparato. El diámetro del sifón debe ser igual o mayor que el diámetro de la válvula de desagüe e igual o menor que el del ramal de desagüe. En caso de que exista una diferencia de diámetros, el tamaño debe aumentar en el sentido del flujo.*

- *Debe instalarse lo más cerca posible de la válvula de desagüe del aparato, para limitar la longitud de tubo sucio sin protección hacia el ambiente.*

- *El desagüe de fregaderos, lavaderos y aparatos de bombeo (lavadoras y lavavajillas) debe hacerse con sifón individual.*
- Redes de pequeña evacuación

Las redes de pequeña evacuación deben diseñarse conforme a los siguientes criterios:

- *El trazado de la red debe ser lo más sencillo posible para conseguir una circulación natural por gravedad, evitando los cambios bruscos de dirección y utilizando las piezas especiales adecuadas.*
- *Deben conectarse a los bajantes cuando por condicionantes del diseño esto no fuera posible, se permite su conexión al sifón del inodoro.*
- *La distancia del sifón al bajante no debe ser mayor que 2 m.*
- *Las derivaciones que acometan al sifón deben tener una longitud igual o menor que 2,50 m, con una pendiente comprendida entre el 2 y el 4 %.*
- *En los aparatos dotados de sifón individual deben tener las características siguientes: en los fregaderos, los lavaderos, los lavabos y los bidés la distancia al bajante debe ser 4 m como máximo, con pendientes comprendidas entre un 2,5 y un 5 %; en las bañeras y las duchas la pendiente debe ser menor o igual que el 10 %; el desagüe de los inodoros a las bajantes debe realizarse directamente o por medio de un manguetón de acometida de longitud igual o menor que 1 m, siempre que no sea posible dar al tubo la pendiente necesaria.*
- *Debe disponerse un rebosadero en los lavabos, bidés, bañeras y fregaderos.*
- *No deben disponerse desagües enfrentados acometiendo a una tubería común. Las uniones de los desagües a las bajantes deben tener la mayor inclinación posible, que en cualquier caso no debe ser menor que 45°.*
- *Cuando se utilice el sistema de sifones individuales, los ramales de desagüe de los aparatos sanitarios deben unirse a un tubo de derivación, que desemboque en la bajante o si esto no fuera posible, en*

el manguetón del inodoro, y que tenga la cabecera registrable con tapón roscado.

- *Excepto en instalaciones temporales, deben evitarse en estas redes los desagües bombeados.*

- Bajantes y canalización

- *Los bajantes deben realizarse sin desviaciones y con diámetro uniforme en toda su altura excepto, en el caso de bajantes de residuales, cuando existan obstáculos insalvables en su recorrido y cuando la presencia de inodoros exija un diámetro concreto desde los tramos superiores que no es superado en el resto de la bajante.*
- *El diámetro no debe disminuir en el sentido de la corriente.*
- *Podrá disponerse un aumento de diámetro cuando acometan a la bajante caudales de magnitud mucho mayor que los del tramo situado aguas arriba.*

- Elementos de conexión

1- *La unión entre redes enterradas verticales y horizontales debe realizarse con arquetas. Sólo puede acometer un colector por cada cara de la arqueta, de tal forma que el ángulo formado por el colector y la salida sea mayor que 90°.*

2- *Deben tener las siguientes características:*

- *La arqueta a pie de bajante debe utilizarse para el registro cuando la conducción a partir de dicho punto vaya a quedar enterrada; no debe ser de tipo sifónico.*
- *En las arquetas de paso deben acometer como máximo tres colectores.*
- *Las arquetas de registro deben disponer de tapa accesible y practicable.*
- *La arqueta de trasdós debe disponerse en caso de llegada al pozo general del edificio de más de un colector.*

3- *Al final de la instalación y antes de la acometida debe disponerse el pozo general del edificio.*

- 4- *Cuando la diferencia entre la cota del extremo final de la instalación y la del punto de acometida sea mayor que 1 m, debe disponerse un pozo de resalto como elemento de conexión de la red interior de evacuación y de la red exterior de alcantarillado o los sistemas de depuración.*
- 5- *Los registros para limpieza de colectores deben situarse en cada encuentro y cambio de dirección e intercalados en tramos rectos.*

3.10.3. Criterios de diseño

Para el diseño y dimensionamiento de los elementos de la instalación se toma como referencia además, el NTE-ISS (Saneamiento), aplicando los siguientes criterios:

- *El trazado de la instalación se ajustará a los siguientes sistemas:*
- *Se utilizará preferentemente sistema unitario que evacua todo tipo de aguas por una sola red de conductos.*
- *El sistema separativo que utiliza dos redes independientes una para aguas pluviales y otra para aguas residuales exclusivamente se utilizará cuando exista estación depuradora, fosa séptica o sistema separativo de alcantarillado.*
- *Los aparatos sanitarios se situarán buscando la agrupación alrededor de la bajante y quedando los inodoros, vertederos y placas turcas, a una distancia de esta, no mayor de 1 m.*
- *El desagüe de inodoro, vertederos y placas turcas se hará siempre directamente a la bajante. El desagüe de fregaderos, lavaderos y aparatos de bombeo se hará con sifón individual.*

La organización del resto de los aparatos puede ser:

- *Con bote sifónico*
- *Con sifones individuales*
- *Se preverán arquetas en la red enterrada y registros en la red suspendidas en los pies de bajante, encuentros de colectores y en general en todos los puntos de la red en los que se puedan producir atascos. La conducción entre registros o arquetas será de tramos rectos y pendiente uniforme.*

- Todas las bajantes quedarán ventiladas por su extremo superior o mediante conducto de igual diámetro con abertura dispuesta en lugar adecuado.
- En los casos en que la red de evacuación o parte de ella quede a nivel inferior de la red de alcantarillado se proveerá a la instalación de un equipo de bombeo según la NTE-ISD: Depuración y vertido.
- Cuando al saneamiento viertan aguas con gran contenido de grasas o fangos como en el caso de garajes, grandes cocinas o trituradores de basura, se interpondrá antes de la arqueta general o pozo de registro un separador de grasas y fangos.
- La acometida a la red de alcantarillado se hará según la NTE-ISA: Alcantarillado y ateniéndose a las Ordenanzas y Reglamentos locales.

3.10.4. Dimensionamiento

Tal y como dicta la norma, se dimensionará de forma separada e independiente la red de aguas residuales y la red de aguas pluviales.

3.9.4.1. Dimensionado de la red de evacuación de aguas pluviales

La red de aguas pluviales se dimensionará utilizando el CTE-DB HS-5, Apartado 4. Los elementos a dimensionar son los siguientes: canalones, bajantes, colectores y arquetas.

- Sumideros:

El número mínimo de sumideros que deben disponerse es el indicado en la tabla 4.6, en función de la superficie proyectada horizontal de la cubierta a la que sirven.

Superficie de cubierta en proyección horizontal (m ²)	Número de sumideros
S < 100	2
100 ≤ S < 200	3
200 ≤ S < 500	4
S > 500	1 cada 150 m ²

El número de puntos de recogida debe de ser suficiente para que no haya desniveles mayores de 150 mm y pendientes máximas del 0'5% para evitar una sobrecarga excesiva de la cubierta.

Cuando por razones de diseño no se instalen estos puntos de recogida debe preverse de algún modo la evacuación de las aguas de precipitación, como por ejemplo colocando rebosaderos.

En este caso la cubierta de la estabulación tiene una superficie de 855 m², por lo que es necesario disponer de un sumidero cada 150 m².

Nº mínimo de sumideros = $855 / 150 = 5,7 = 6$ sumideros

Los cuales se disponen tres sumideros para cada faldón.

Para la cubierta del almacén en cambio, con una superficie de 270 m², según la norma hay que colocar 4 sumideros por canalón.

Por lo tanto, se ha determinado colocar 4 sumideros para cada canalón, es decir, 4 en el canalón del lateral izquierdo, 4 en el canalón central y otros 4 en el canalón del lateral derecho; Haciendo así un total de 12 sumideros.

Número de sumideros por canalón: 4

Número de sumideros total: 12

- Intensidad pluviométrica:

Para determinar los parámetros de los elementos a utilizar, en primer lugar se debe determinar el régimen pluviométrico de la zona en la que está ubicada la construcción.

Para ello se recurre a la tabla B.1:

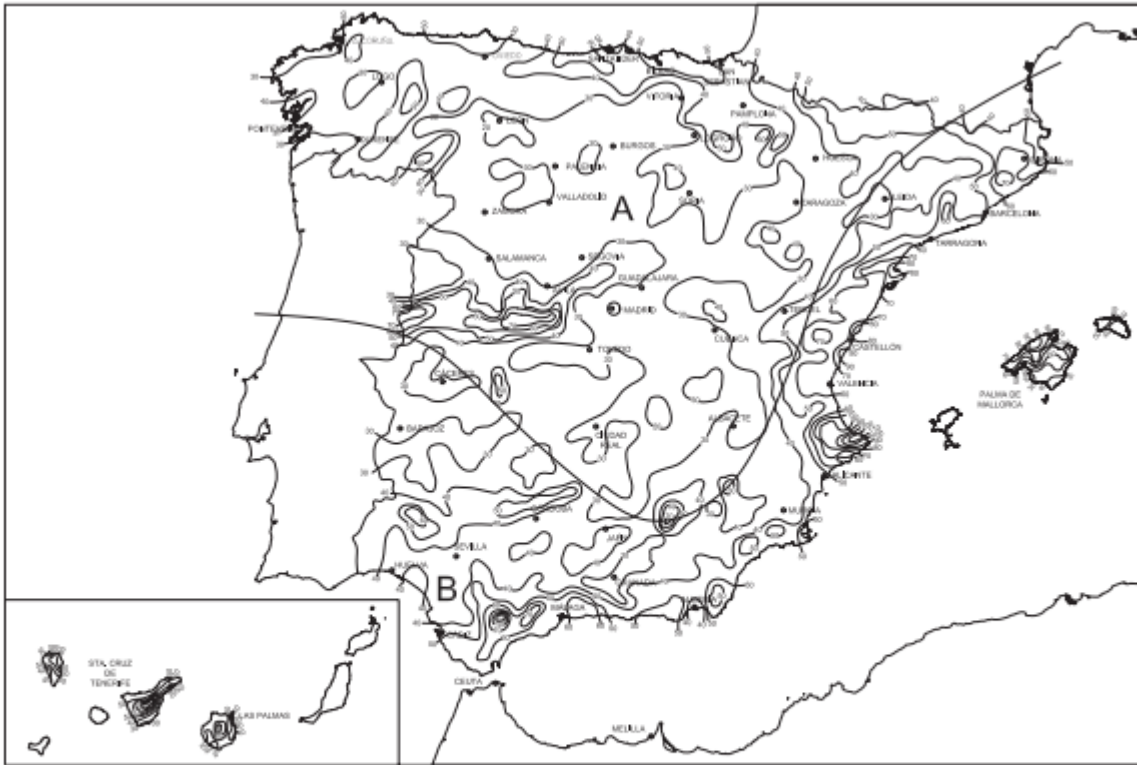


Figura B.1 Mapa de isoyetas y zonas pluviométricas

Tabla B.1
Intensidad Pluviométrica *i* (mm/h)

Isoyeta	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Zona A	30	65	90	125	155	180	210	240	275	300	330	365
Zona B	30	50	70	90	110	135	150	170	195	220	240	265

Según el mapa, la nave está ubicada en la zona A y le corresponde una isoyeta 50.

Intensidad Pluviométrica: *i* = 155 mm/h

- Canalones:

El diámetro del canalón se determina a partir de la intensidad pluviométrica obtenida, mediante la tabla 4.7.

Para una intensidad pluviométrica diferente de 100 mm/h, se le debe aplicar un factor de corrección *f* a la superficie servida tal que:

$$f = i / 100$$

Siendo:

i: la intensidad pluviométrica que se quiere considerar.

Por lo tanto el factor de corrección es:

$$f = 155/100 = 1,55$$

El diámetro de los canalones se determina dependiendo del área de cubierta que deba evacuar cada uno de ellos. Como ya se ha especificado anteriormente, se disponen tres canalones a lo largo de toda la longitud de la nave, uno a cada lado de la misma y un tercero en la parte central, donde confluyen ambas naves.

Para determinar el área de evacuación se toma el canalón que debe evacuar un área mayor de la cubierta, en este caso es el canalón central, ya que debe evacuar 2 faldones (faldón de la estabulación y faldón del almacén).

$$A = 45\text{m} \cdot (3\text{m} + 9,5\text{m}) = 562,5 \text{ m}^2$$

Tras aplicar el factor de corrección:

$$A = 562,5 \cdot 1,55 = 871,875 \text{ m}^2$$

Aplicando una pendiente para los canalones del 4%, que se conseguirá mediante la utilización de unos calzos que se colocarán en los puntos de apoyo de cada canalón, y con una superficie de cubierta de 871,875 m², el diámetro requerido es de 250 mm.

Tabla 4.7 Diámetro del canalón para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Máxima superficie de cubierta en proyección horizontal (m ²)				Diámetro nominal del canalón (mm)
Pendiente del canalón				
0.5 %	1 %	2 %	4 %	
35	45	65	95	100
60	80	115	165	125
90	125	175	255	150
185	260	370	520	200
335	475	670	930	250

Diámetro nominal del canalón: 250 mm

- **Bajantes:**

El diámetro correspondiente a la superficie, en proyección horizontal, servida por cada bajante de aguas pluviales se obtiene en la tabla 4.8.

Las bajantes se colocan verticalmente y para determinar la superficie a desaguar se siguen los mismos criterios empleados en los casos anteriores.

La mayor superficie a desaguar es la de las bajantes situadas en el canalón central. Calculada de la siguiente manera:

- Bajantes de los extremos: $A = 7,5 \text{ m} \cdot (3 \text{ m} + 9,5 \text{ m}) = 93,75 \text{ m}^2$
Factor de corrección: $A^* = 93,75 \cdot 1,55 = 145,31 \text{ m}^2$
- Bajantes centrales: $A = 15 \text{ m} \cdot (3 \text{ m} + 9,5 \text{ m}) = 187,5 \text{ m}^2$
Factor de corrección: $A^* = 187,5 \cdot 1,55 = 290,62 \text{ m}^2$

Por lo tanto, se dimensionan todas las bajantes en función de lo requerido por las bajantes centrales del canalón central, ya que para facilitar el montaje se dispone de todas las bajantes iguales.

Le diámetro requerido se extrae de la siguiente tabla:

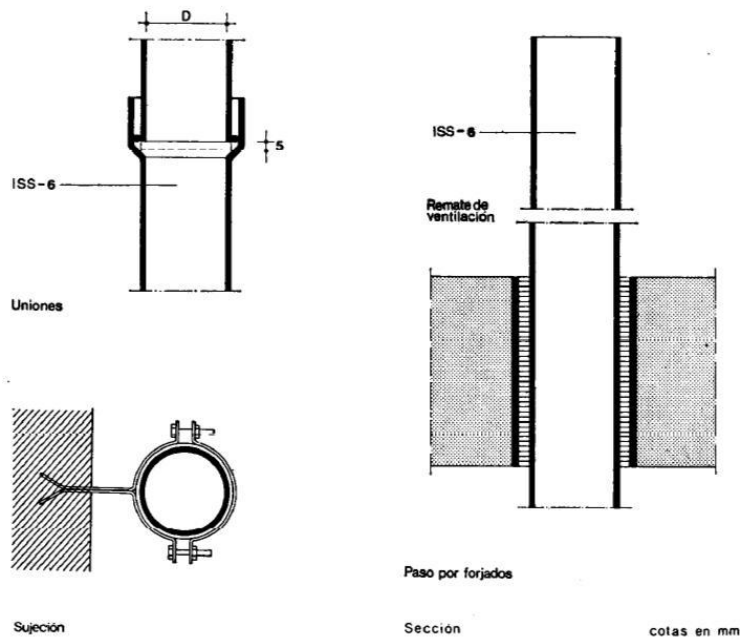
Tabla 4.8 Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Superficie en proyección horizontal servida (m ²)	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

Diámetro nominal de la bajante: 90 mm
Número total de bajantes: 12

ISS-43 Bajante de PVC-D

IS



- Colectores de aguas pluviales:

Los colectores de aguas pluviales se calculan a sección llena en régimen permanente.

El diámetro de los colectores de aguas pluviales se obtiene en la tabla 4.9, en función de su pendiente y de la superficie a la que sirve.

Tabla 4.9 Diámetro de los colectores de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h

Superficie proyectada (m ²)			Diámetro nominal del colector (mm)
Pendiente del colector			
1 %	2 %	4 %	
125	178	253	90
229	323	458	110
310	440	620	125
614	862	1.228	160
1.070	1.510	2.140	200
1.920	2.710	3.850	250
2.016	4.589	6.500	315

Considerando una pendiente del 2% y una superficie, con el factor de corrección aplicado, de 290,62 m², el diámetro nominal del colector es de 110 mm.

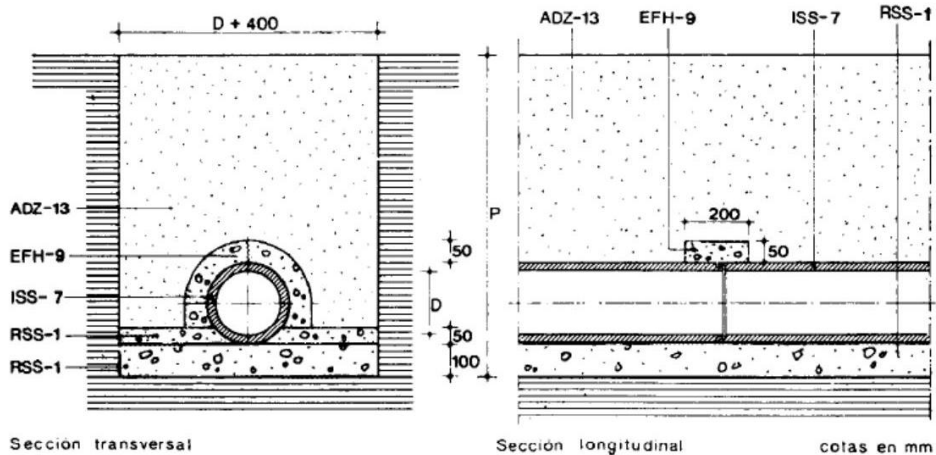
Diámetro nominal del colector: 110 mm

Se disponen colectores de hormigón enterrados dispuestos de arqueta en arqueta, 3 en cada tramo de canalón, 2 colectores para unir los tres tramos, y

uno más para conectar con la red general de evacuación. De manera que el número total de colectores es de 12.

Número total de colectores: 12

ISS-45 Colector enterrado de hormigón-D-P



ADZ-13 Relleno de la zanja, por tongadas de 20 cm con tierra exenta de áridos mayores de 8 cm y apisonada. En los 50 cm superiores se alcanzará una densidad seca del 100 % de la obtenida en el ensayo Próctor Normal y del 95 % en el resto del relleno.

EFH- 9 Corchete de hormigón en masa de resistencia característica 100 kg/cm². en las juntas.

ISS - 7 Conducto de hormigón de diámetro interior D mm.

RSS- 1 Solera y recalce de hormigón en masa de resistencia característica 100 kg/cm².

- Arqueta de aguas pluviales:

En la tabla 4.13 se obtienen las dimensiones mínimas necesarias (longitud L y anchura A mínimas) de una arqueta en función del diámetro del colector de salida de ésta.

Tabla 4.13 Dimensiones de las arquetas

L x A [cm]	Diámetro del colector de salida [mm]								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	40 x 40	50 x 50	60 x 60	60 x 70	70 x 70	70 x 80	80 x 80	80 x 90	90 x 90

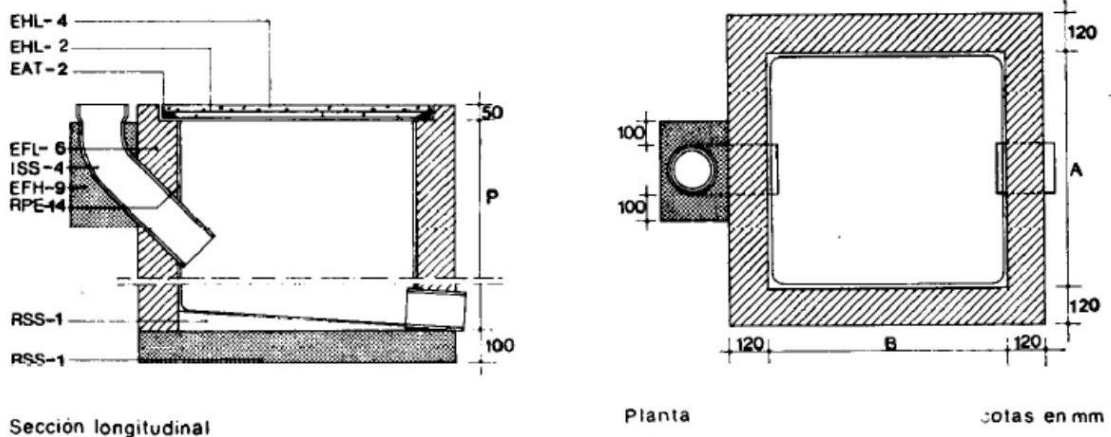
Por lo tanto, para un diámetro de salida del colector de 110 mm se requiere una arqueta de 50 x 50 mm, según la tabla.

Dimensiones de la arqueta: 50x50 mm

Se colocan un total de 12 arquetas a pie de bajante.

Número total de arquetas: 12

ISS-50 Arqueta a pie de bajantes-A·B·D·P



- EAT- 2 Cerco de perfil laminado L 50,5 mm al que irán soldadas las armaduras de la tapa de hormigón.
- EFL- 6 Muro aparejado de 12 cm de espesor, de ladrillo macizo R-100 kg/cm², con juntas de mortero M-40 de espesor 1 cm.
- EHL- 2 Armadura formada por redondos \varnothing 8 mm de acero AE 42 formando retícula cada 10 cm.
- EHL- 4 Losa sustentada en cuatro bordes de hormigón de resistencia característica 175 kg/cm².
- ISS- 4 Codo de fibrocemento sanitario de diámetro interior D mm.
- RPE-14 Enfoscado con mortero 1:3 y bruñido. Angulos redondeados.
- RSS- 1 Solera y formación de pendientes de hormigón en masa de resistencia característica 100 kg/cm².
- EFH- 9 Hormigón en masa de resistencia característica 100 kg/cm².

3.9.4.1. Dimensionado de la red de evacuación de aguas residuales

La adjudicación de UD a cada tipo de aparato y los diámetros mínimos de los sifones y las derivaciones individuales correspondientes se establecen en la tabla 4.1 en función del uso.

Tabla 4.1 UD's correspondientes a los distintos aparatos sanitarios

Tipo de aparato sanitario	Unidades de desagüe UD		Diámetro mínimo sifón y derivación individual (mm)	
	Uso privado	Uso público	Uso privado	Uso público
Lavabo	1	2	32	40
Bidé	2	3	32	40
Ducha	2	3	40	50
Bañera (con o sin ducha)	3	4	40	50
Inodoro	Con cisterna	4	5	100
	Con fluxómetro	8	10	100
Urinario	Pedestal	-	4	-
	Suspendido	-	2	-
	En batería	-	3,5	-
Fregadero	De cocina	3	6	40
	De laboratorio, restaurante, etc.	-	2	-
Lavadero	3	-	40	-
Vertedero	-	8	-	100
Fuente para beber	-	0,5	-	25
Sumidero sifónico	1	3	40	50
Lavavajillas	3	6	40	50
Lavadora	3	6	40	50
Cuarto de baño (lavabo, inodoro, bañera y bidé)	Inodoro con cisterna	7	-	100
	Inodoro con fluxómetro	8	-	100
Cuarto de aseo (lavabo, inodoro y ducha)	Inodoro con cisterna	6	-	100
	Inodoro con fluxómetro	8	-	100

Se dispone de 2 sumideros sifónicos de uso privado, a los cuales les corresponden cuatro unidades de desagüe (UD).

Diámetro mínimo sifón y derivación individual: 40 mm

- Ramales de colectores:

En la tabla 4.3 se obtiene el diámetro de los ramales colectores entre aparatos sanitarios y la bajante según el número máximo de unidades de desagüe y la pendiente del ramal colector.

Tabla 4.3 Diámetros de ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante

	Máximo número de UD			Diámetro (mm)
	Pendiente			
	1 %	2 %	4 %	
-	1	1	1	32
-	2	3	3	40
-	6	8	8	50
-	11	14	14	63
-	21	28	28	75
47	60	75	75	90
123	151	181	181	110
180	234	280	280	125
438	582	800	800	160
870	1.150	1.680	1.680	200

Considerando una pendiente del 2% y 4UD de desagüe se obtiene un diámetro de 50 mm.

Diámetro de ramales colectores: 50 mm

- Colectores horizontales:

Los colectores horizontales se dimensionan para funcionar a media de sección, hasta un máximo de tres cuartos de sección, bajo condiciones de flujo uniforme.

El diámetro de los colectores horizontales se obtiene en la tabla 4.5 en función del máximo número de UD y de la pendiente.

Tabla 4.5 Diámetro de los colectores horizontales en función del número máximo de UD y la pendiente adoptada

Máximo número de UD			Diámetro (mm)
Pendiente			
1 %	2 %	4 %	
-	20	25	50
-	24	29	63
-	38	57	75
96	130	160	90
264	321	382	110
390	480	580	125
880	1.056	1.300	160
1.600	1.920	2.300	200
2.900	3.500	4.200	250
5.710	6.920	8.290	315
8.300	10.000	12.000	350

Diámetro de los colectores horizontales: 50 mm

- Arquetas:

Se dispone de dos arquetas sumidero de hormigón en masa "in situ", con marco y tapa de fundición, para alojamiento de la válvula, previa excavación con medios mecánicos y posterior rellenado del trasdos con material granular.

Número de arquetas de aguas residuales: 2

