



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



ANEJO Nº 11 – ANÁLISIS Y CÁLCULOS ESTRUCTURALES

PARTE 4 – ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DE MUROS PANTALLA, FORJADOS DE PISCINA Y ESTRUCTURA DE GRADERÍO

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

Grado en Ingeniería Civil

ÍNDICE

1. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA	3	2.6. COMPROBACIONES Y DIMENSIONAMIENTO DE ESCALERAS	86
1.1. FORJADOS DE PISCINA Y ESTRUCTURAS DE GRADERÍO	3	2.6.1. ESCALERA PRINCIPAL DEL EDIFICIO AUXILIAR	86
1.2. MUROS PANTALLA	5	2.6.2. ESCALERA DE ACCESO AL GIMNASIO	87
2. FORJADOS DE PISCINA Y ESTRUCTURAS DE GRADERÍO	5	2.6.3. ESCALERA ACCESO A GRADA SUPERIOR DESDE EDIFICIO AUXILIAR	88
2.1. MODELO ESTRUCTURAL DE LOS FORJADOS DE PISCINA Y ESTRUCTURA DE GRADERÍO	5	2.6.4. ESCALERA DE COMUNICACIÓN ENTRE GRADAS SUPERIOR E INFERIOR	89
2.1.1. PROGRAMA DE CÁLCULO EMPLEADO	5	2.7. COMPROBACIONES Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS FORJADOS	90
2.1.2. MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL	5	2.7.1. COMPROBACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL FORJADO RETICULAR	90
2.2. COMPROBACIONES Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS PILARES	6	2.7.1.1. PREDIMENSIONAMIENTO	90
2.2.1. AGRUPACIÓN DE PILARES	6	2.7.1.2. DIMENSIONAMIENTO DEL ARMADO	91
2.2.2. ENVOLVENTE DE ESFUERZOS DE LOS PILARES	7	2.7.1.3. COMPROBACIÓN DE FLECHA	95
2.2.3. COMPROBACIÓN DE LOS PILARES	7	2.7.2. COMPROBACIONES Y DIMENSIONAMIENTO DEL FORJADO DE VIGUETAS	96
2.2.3.1. AGRUPACIÓN 1	7	3. MUROS PANTALLA	96
2.2.3.2. AGRUPACIÓN 2	14	3.1. PROGRAMA DE CÁLCULO EMPLEADO	96
2.2.3.3. AGRUPACIÓN 3	20	3.2. ESFUERZOS SOBRE EL MURO PANTALLA DE LAS DISTINTAS FASES	97
2.2.3.4. AGRUPACIÓN 4	26	3.3. COMPROBACIONES Y DIMENSIONAMIENTO DEL ARMADO	98
2.2.3.5. AGRUPACIÓN 5	33		
2.2.4. DETALLES 3D DE LOS PILARES:	40		
2.3. COMPROBACIONES Y DIMENSIONAMIENTO DE VIGAS	41		
2.3.1. AGRUPACIÓN DE VIGAS	41		
2.3.2. COMPROBACIONES RESUMIDAS DE VIGAS	41		
2.3.2.1. PRIMERA PLANTA	41		
2.3.2.2. SEGUNDA PLANTA	41		
2.3.3. COMPROBACIONES DE VIGAS	42		
2.3.3.1. VIGA PASILLO GRADA SUPERIOR	42		
2.3.3.2. VIGA PASILLO GRADA INFERIOR	45		
2.4. COMPROBACIONES Y DIMENSIONAMIENTO DE VIGAS INCLINADAS	49		
2.4.1. COMPROBACIONES RESUMIDAS DE VIGAS INCLINADAS	49		
2.4.2. COMPROBACIONES EN VIGAS	49		
2.4.2.1. VIGA INCLINADA GRADA SUPERIOR	49		
2.4.2.2. VIGA INCLINADA GRADA INFERIOR	57		
2.5. COMPROBACIONES Y DIMENSIONAMIENTO DE UNIONES	65		
2.5.1. UNIONES PÓRTICO TIPO GRADA SUPERIOR	65		
2.5.1.1. UNIÓN PILAR – PILAR HORMIGÓN	65		
2.5.1.2. UNIÓN VIGA INCLINADA – PILAR	67		
2.5.1.3. UNIÓN VIGA INCLINADA – VIGA HORIZONTAL SUPERIOR	70		
2.5.1.4. UNIÓN VIGA HORIZONTAL SUPERIOR – RIGIDIZADOR PILAR	72		
2.5.1.5. UNIÓN RIGIDIZADOR FRONTAL PILAR-PILAR, VIGA APOYO VIGUETA – PILAR	73		
2.5.2. UNIONES PÓRTICO TIPO GRADA INFERIOR	79		
2.5.2.1. UNIÓN PILAR – PILAR HORMIGÓN	79		
2.5.2.2. UNIÓN VIGA INCLINADA PILAR	81		
2.5.2.3. UNIÓN VIGA INCLINADA – VIGA HORIZONTAL SUPERIOR	84		

1. Descripción de la solución adoptada

En primer lugar, se va a explicar brevemente qué elementos se analizan y dimensionan en esta parte del anejo. Se pueden identificar dos claras partes, que se modelizarán y analizarán por separado, al ser completamente independientes entre sí. Son las siguientes:

- Forjados de piscina y estructuras de graderío (no incluyendo la planta baja, correspondiente a la parte de forjados de aparcamiento).
- Muros pantalla.

Aunque son independientes entre ellas, no lo son a otras partes de la estructura descritas en las anteriores partes del anejo. Las estructuras de graderío y forjados de piscina deberán ser dimensionados teniendo en cuenta sus uniones con la estructura envolvente de la piscina, en el apoyo de vigas/forjados en sus pilares perimetrales, y el correcto enlace con la estructura del aparcamiento, que se materializara mayoritariamente en la continuidad de pilares entre ambas o el apeamiento al forjado de la planta baja de algunos pilares donde la continuidad de estas afectaría la distribución del aparcamiento. En el caso de los muros pantalla, se deberá estudiar el comportamiento conjunto que puedan tener con los forjados del aparcamiento y con la losa de cimentación. Pasaremos a describir a continuación ambas partes en más detalle.

1.1. Forjados de piscina y estructuras de graderío

Podemos dividir la estructura en dos partes principales:

- Los forjados y pilares que la sujetan son estructuras de hormigón armado (con excepción de los pilares perimetrales de la estructura envolvente, compuesta por perfiles metálicos).
- El esqueleto resistente de la estructura de graderío está compuesto por perfiles metálicos.

Forjados

Tanto en el edificio principal, que contiene la piscina y las gradas, como la auxiliar, donde se ubican el vestíbulo, un gimnasio, acceso a gradas, etc., el forjado de la primera planta consiste en un forjado reticular, con luz cuadrática media de 7,75 m (7,50x8,00 m) entre apoyos, mientras que existen distintas soluciones en la segunda planta del edificio principal, como se explicara a continuación.

En el caso del edificio auxiliar, con dimensiones de 15x48 m, se dispone una fila de pilares central (5 pilares de hormigón de 50x50 cm, aprovechando los pilares metálicos en los extremos), con separación entre sí de 8,00 m y 7,50 m a los pilares que sujetan la cubierta del edificio a ambos lados, distinguiéndose así dos bandas de forjado reticular. Además, se han tenido que disponer dos pilares apeados al forjado de la planta baja de 30x30 cm para soportar las vigas en las que apoya la escalera de acceso al gimnasio.

En el edificio principal el forjado reticular de la primera planta. Está compuesto por una banda de 7,50x8,00 m, dispuesta a lo largo de la fachada longitudinal de 60,00 m (siete pilares de hormigón, cinco de sección 65x65 cm correspondientes a los pórticos de gradas y los otros dos de sección 50x50 cm, aprovechando otra vez los metálicos de la estructura envolvente en los extremos), y una pequeña sección de voladizo, compensada por el peso de la primera, que forma el pasillo de acceso a las gradas inferiores. Al final de este pasillo, al final de las gradas inferiores, hay un espacio que se destina al almacenamiento y otros usos relacionados con el

mantenimiento, al igual que el espacio que queda debajo de las gradas superiores. A la segunda planta se accede bien por unas escaleras que se originan en el edificio auxiliar o desde las gradas inferiores. El pasillo de acceso a las gradas superiores en la segunda planta está compuesto por viguetas de hormigón armado, que salvan una luz de 3,50 m entre vigas metálicas. Hay un forjado reticular encima de la zona de almacenamiento, destinado a alojar aseos para los usuarios de las gradas superiores. El forjado reticular utilizado en ambas plantas es de bloques perdidos, utilizando el sistema Basenet® de la empresa Daliforma, con un intereje de 70 cm en ambas direcciones, un ancho de nervio de 10 cm y un canto de 35 mm, de la cual 5 cm son de capa de compresión.

El sistema Basenet® consiste, según el catálogo del proveedor, en una plantilla de 60x60 cm de polipropileno que sirve para replantear bloques aligerantes de EPS de forma que estos queden completamente anclados y posicionados durante la fase de hormigonado. Esta ideado para que permita la formación de una capa inferior de hormigón contigua, de forma que no sea necesario el revestimiento posterior. La plantilla posee unos "arpones" que facilitan el anclaje del aligeramiento a fin de que este no se mueva durante la fase del hormigonado. Se muestra el sistema en las siguientes imágenes:



Imagen 1 – Sistema Basenet® para forjados reticulares de bloques perdidos de DALIFORMA S.L. Fuente: Catálogo de forjados reticulares de la empresa DALIFORMA S.L

Las viguetas de hormigón armado son de 30 cm de canto, siendo 20 cm el canto de las bovedillas de poliestireno y 5 cm capa de compresión, con un intereje de 72 cm y ancho de nervio de 12 cm.

Estructura de graderío

Como se ha definido en el estudio de soluciones, las gradas se han dividido en una sección inferior y otra superior. La solución adoptada para la estructura va por la misma línea, diferenciándose una estructura de grada inferior y una de grada superior, compartiendo el pilar central.

La grada inferior arranca del forjado de la planta baja con un pilar metálico de 0,70 m de altura, donde va unida una viga inclinada que sube 2,80 m y avanza 5,27 m en horizontal (longitud 5,57 m). Esta viga inclinada, que soportará el peso de las gradas, se une al pilar mediante una viga de 3,73 m (que formará el pasillo superior de la grada inferior), cerrando de esta forma el pórtico.

La grada superior arranca del pilar donde acaba la grada inferior, subiendo un metro por encima del pasillo de la grada inferior, garantizando de esta forma, como se ha descrito en el estudio de soluciones, la visibilidad de las gradas superiores. A la cabeza de este pilar se une una viga inclinada que sube 2,50 m y avanza 4,53 m

(longitud 5,17 m), que se une en su parte superior con una viga horizontal, siendo esta la que se une con el pilar de la estructura envolvente. Entre estas vigas horizontales se disponen otras perpendiculares a ellas, que soportarán a las viguetas de hormigón armado.

A continuación, se observa un pórtico tipo de la estructura de graderío completa, representando las secciones de las vigas metálicas y el pilar de hormigón:

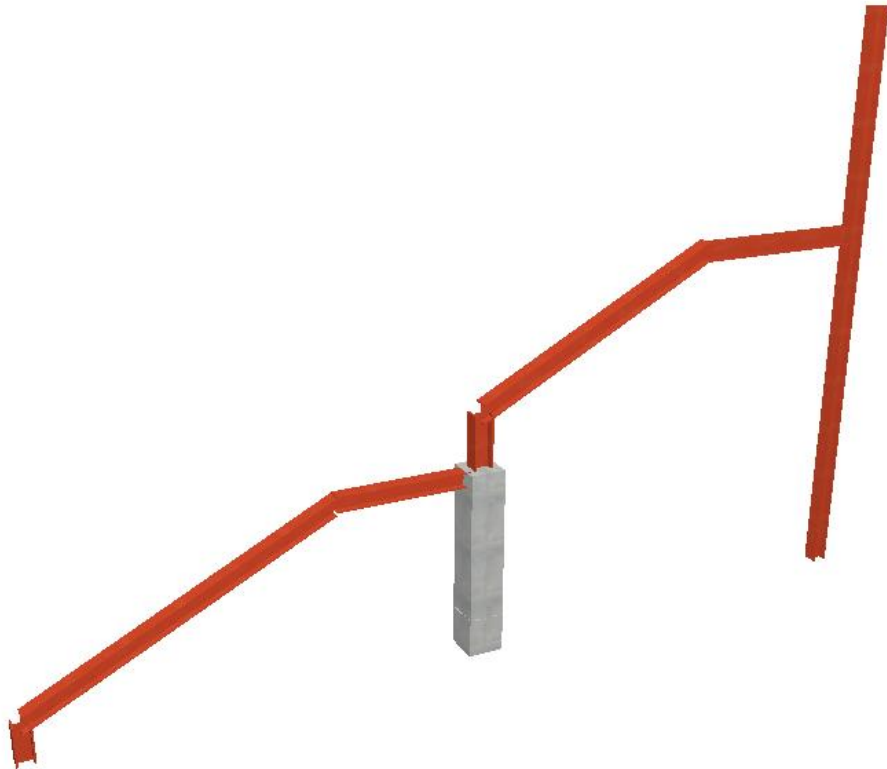


Imagen 2 – Pórtico tipo de la estructura de graderío. Fuente: Propia

Los perfiles metálicos y secciones de hormigón utilizados son los siguientes:

- Pilar de arranque grada inferior: HEM 280
- Viga inclinada grada inferior: HEB 280
- Viga horizontal (pasillo) grada inferior: HEB 280
- Pilar hormigón: 65x65cm
- Pilar arranque grada superior: HEM 320
- Viga inclinada grada superior: HEB 320
- Viga horizontal (pasillo) grada superior: HEB 320
- Pilar del pórtico lateral de la estructura envolvente: HEB 280

Para la propia estructura de gradas, en función de la huella/contrahuella definida en el estudio de soluciones, se ha consultado un catálogo para hacer una estimación de la carga muerta que estas pueden suponer sobre la estructura de graderío, sabiendo que hay 7,50 m entre pórticos:

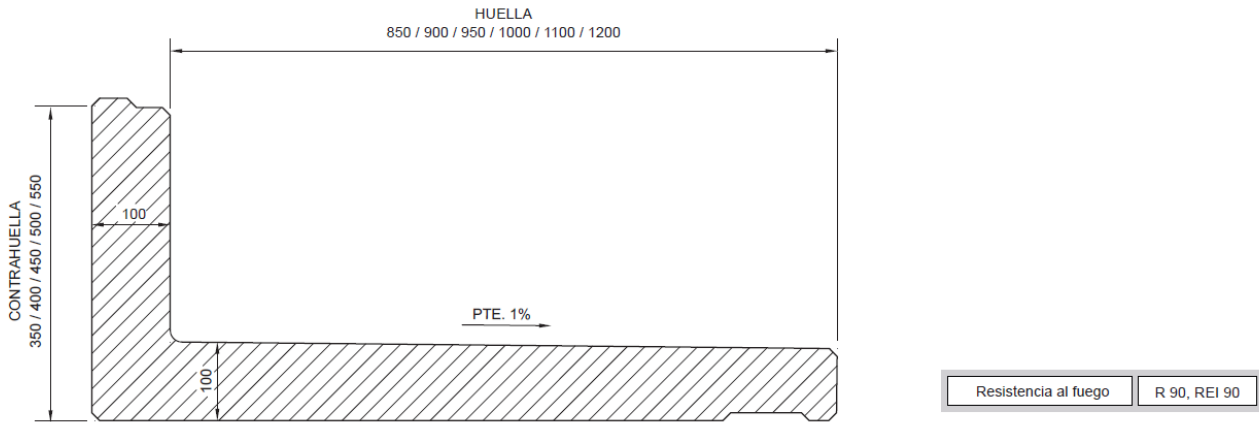


Imagen 3 – Sección tipo de grada prefabricada de hormigón armado. Fuente: Catálogo de elementos prefabricados de la empresa RIPHORSA S.A

PESOS (KN/m, KN/m²)							LONGITUDES MÁXIMAS (m)
HUELLA / CONTRAHUELLA	850	900	950	1000	1100	1200	
350	2,96 KN/m	3,06 KN/m	3,19 KN/m	3,28 KN/m	3,50 KN/m	3,75 KN/m	7,00
	3,49 KN/m²	3,40 KN/m²	3,35 KN/m²	3,28 KN/m²	3,19 KN/m²	3,12 KN/m²	
400	3,09 KN/m	3,19 KN/m	3,31 KN/m	3,41 KN/m	3,63 KN/m	3,87 KN/m	7,50
	3,63 KN/m²	3,54 KN/m²	3,48 KN/m²	3,41 KN/m²	3,30 KN/m²	3,23 KN/m²	
450	3,21 KN/m	3,31 KN/m	3,43 KN/m	3,53 KN/m	3,75 KN/m	3,99 KN/m	8,00
	3,78 KN/m²	3,68 KN/m²	3,61 KN/m²	3,53 KN/m²	3,41 KN/m²	3,33 KN/m²	
500	3,33 KN/m	3,43 KN/m	3,55 KN/m	3,65 KN/m	3,87 KN/m	4,12 KN/m	8,50
	3,92 KN/m²	3,81 KN/m²	3,74 KN/m²	3,65 KN/m²	3,52 KN/m²	3,43 KN/m²	
550	3,45 KN/m	3,55 KN/m	3,68 KN/m	3,77 KN/m	3,99 KN/m	4,24 KN/m	9,00
	4,06 KN/m²	3,95 KN/m²	3,87 KN/m²	3,77 KN/m²	3,63 KN/m²	3,53 KN/m²	

Imagen 4 – Tabla de relación huella/contrahuella, peso y longitud máxima entre apoyos. Fuente: Catálogo de elementos prefabricados de la empresa RIPHORSA S.A

Por tanto, la relación huella/contrahuella asumida (780 mm/400 mm) en el cálculo es válida para poder disponer gradas de 7,50 m de longitud entre pórticos. Asumiremos para el cálculo de las gradas una carga muerta de 3,1 kN/m², ya que no se definió en la Parte 1 del presente Anejo.

1.2. Muros pantalla

La solución adoptada para los muros pantalla se describió en detalle en el Anejo Nº10 – Análisis y cálculos geotécnicos, por lo tanto, realizaremos a continuación una breve descripción de lo descrito anteriormente.

Se divide la ejecución de muros pantalla en tramos de 5,00 m, significando que tenemos un total de:

- El límite de la parcela con la Av. Augusta (y la de enfrente, que da al interior de la parcela) mide un total de 110 m, que ejecutaremos con 21 módulos de muro pantalla de 5,00 m cada uno, con módulos especiales en las esquinas que miden 2,50 m cada uno en esta cara.
- El límite de la parcela con el Canal de la Fontana (y con la calle Florencia) mide un total de 76,00 m, que ejecutamos con 16 módulos de las mismas dimensiones, también con módulos de esquina que miden 3,00 m cada una en esta cara (sumado a lo anterior son módulos de 2,50+3,00 m en las cuatro esquinas).

En el proyecto se limitará a calcular el módulo de 5 m tipo de muro pantalla. Al módulo de las esquinas se aplicará el mismo armado asegurando que dimensionamos correctamente los anclajes y solapes entre ambos lados.

2. Forjados de piscina y estructuras de graderío

2.1. Modelo estructural de los forjados de piscina y estructura de graderío

2.1.1. Programa de cálculo empleado

La geometría de la estructura se ha obtenido trabajando sobre planos en planta en la aplicación informática AutoCAD 2016. Resultaba ser un proceso iterativo, especialmente en el caso de las gradas, debido a sus estrictas normas de visibilidad. Estas se modelizaban tanto en planta como en alzado, hasta alcanzar una solución satisfactoria que cumpliera tanto la normativa como una adecuada distribución en planta de las instalaciones. Trabajando sobre estos planos en alzado y en planta se ha obtenido un modelo 3D de la estructura, obteniéndose de esta forma las coordenadas necesarias para su posterior exportación a otro programa de cálculo.

El programa de cálculo empleado es el CYPE 2015, desarrollado por CYPE Ingenieros S.A., una empresa que desarrolla y comercializa software técnico para los profesionales de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción. En el análisis y dimensionamiento de las estructuras contenidas en este apartado se han utilizado los módulos de CYPECAD, programa de cálculo de estructuras, y de CYPE-Connect, programa que permite dimensionar y comprobar uniones soldadas y atornilladas de perfiles laminados y armados.

Se utilizará CYPECAD para el dimensionamiento de la estructura de forjados y la de graderíos, calculándose las uniones metálicas de esta última con CYPE-Connect.

2.1.2. Modelización estructural

Aunque se ha descrito el proceso anteriormente, se hará una breve explicación de cómo se ha introducido y modelizado la estructura en CYPECAD, haciendo hincapié en las simplificaciones asumidas para facilitar el cálculo sin comprometer la seguridad estructural.

En primer lugar, se definen las normativas de aplicación, los materiales a emplear (ambos definidos en la Parte 1 del presente Anejo), el tipo de ambiente (clase IV, ya que se trata de una estructura expuesta a cloruros de origen no marino) y las hipótesis y combinaciones a considerar en el cálculo.

Seguidamente, en la ventana de “entrada de pilares”, se definen todos los pilares de la estructura, en planta, utilizando las coordenadas obtenidas con AutoCAD. Una vez establecidos estos, se definen las plantas, detallando para estas la altura, categoría de uso de las sobrecargas y los valores de carga para cada hipótesis (carga muerta y sobrecarga de uso).

Por último, en la ventana de “entrada de vigas”, se definen las vigas, los forjados, las escaleras y las cargas especiales (las que no están incluidas en las categorías de uso).

Una vez definido todo lo anterior se podrá calcular la obra, permitiendo que el programa calcule los esfuerzos de cada elemento, y seguidamente dimensione y proponga un armado en el caso de los elementos de hormigón, y el perfil óptimo en el caso de utilizar perfiles laminados de acero.

A continuación, se muestra una imagen de la vista 3D que ofrece el programa una vez introducido todos los datos:

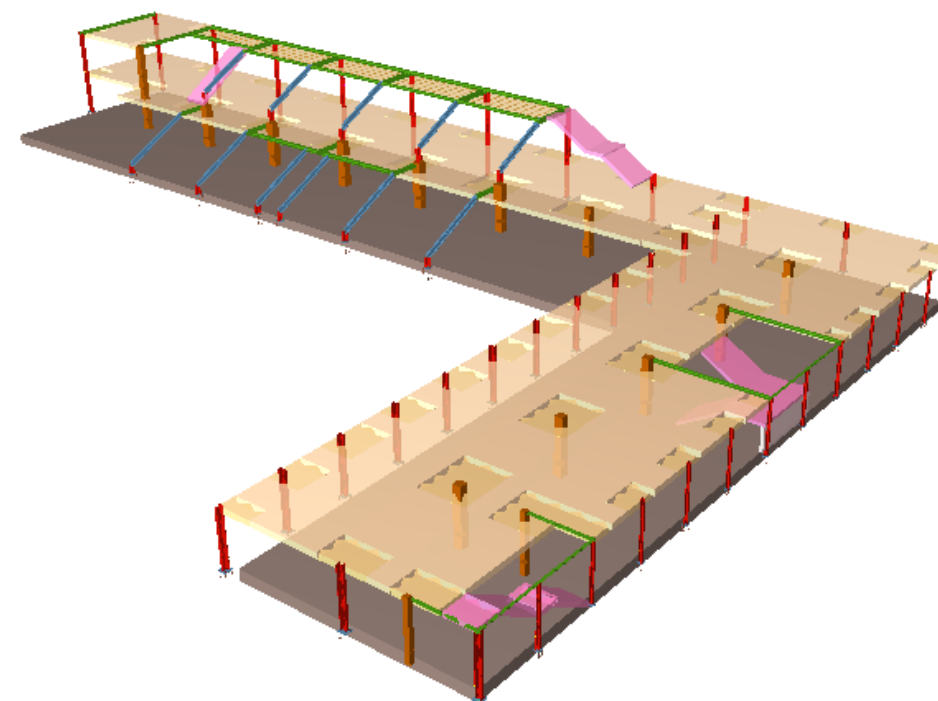


Imagen 5 – Vista 3D del modelo en el programa CYPECAD. Fuente: Propia

Simplificaciones adoptadas

La primera simplificación que se ha adoptado es no modelizar las gradass en la estructura, reemplazándolos por cargas lineales sobre los pórticos de la estructura de graderío. Las cargas lineales se han introducido como hipótesis sobre las barras inclinadas, asignando el peso propio de las gradass (3 kN/m²) a la hipótesis cargas muertas sobre el pórtico y las sobrecargas de uso (5 kN/m²) a su misma hipótesis. En la siguiente tabla se desglosan estas cargas lineales, obtenidas multiplicando estas cargas por su área tributaria:

Inferiores	CM	SU
1	11.25	18.75
2	20.775	34.625
3	9.525	15.875
4	9.525	15.875
5	20.775	34.625
6	11.25	18.75

Superiores	CM	SU
1	11.25	18.75
2	22.5	37.5
3	22.5	37.5
4	22.5	37.5
5	11.25	18.75

En la siguiente imagen se muestra la numeración empleada:

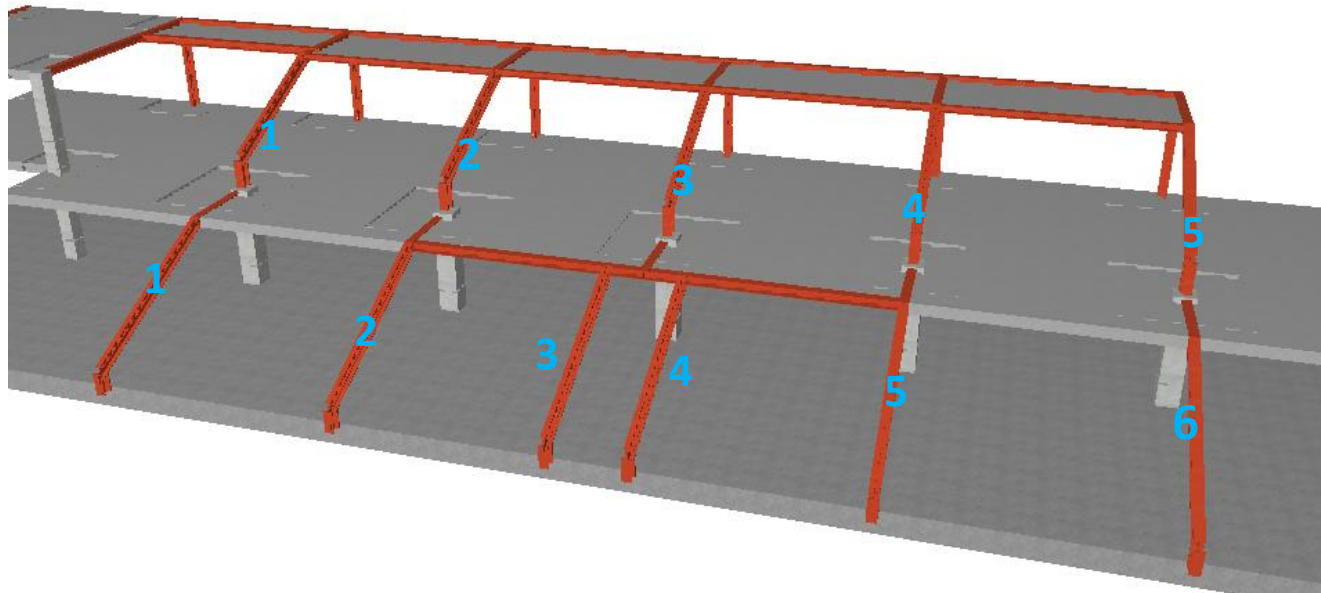


Imagen 6 – Numeración vigas inclinadas. Fuente: Propia

La segunda simplificación, aunque más bien es una aclaración, es relacionada con la cimentación de la estructura. Se ha modelizado en el CYPECAD como una losa con un elevado coeficiente de balasto, para evitar que asiente y produzca de esta manera esfuerzos en los elementos debidos a estas deformaciones. El módulo de balasto proporcionada en el Anejo Nº 9 – Estudio geotécnico se ha utilizado en la modelización de la losa de cimentación del aparcamiento, y se ha comprobado que los asentamientos en ésta son mínimos

Realmente la estructura tiene continuidad con la del aparcamiento, y es por esto que es necesario aclarar que, aunque tanto en los listados y en los despieces de armado aparezcan los términos arranque y armadura de esperas a cimentación, esto no será así, sino que se solaparan con el armado de los pilares del aparcamiento. Aunque la modelización ideal es la de una estructura totalmente conjunta, se ha preferido dividirla en partes para permitir la división del trabajo entre los alumnos autores.

Se ha procurado por tanto armonizar al máximo las estructuras que presenten esta continuidad entre diferentes modelos, como es el ejemplo de aumentar los pilares del aparcamiento si así lo requiere una placa de anclaje de la estructura envolvente, así como introduciendo las cargas de las estructuras superiores sobre la cabeza de los pilares del aparcamiento, consiguiendo así una modelización y un dimensionamiento más próxima a la real.

Por último, en las secciones donde se ha realizado un empotramiento de estructuras de hormigón con estructuras metálicas, como puede ser el caso del apoyo del forjado reticular sobre los pilares de la envolvente del edificio, se ha adoptado un coeficiente de empotramiento de 0,5, ya que la unión de estas no se puede considerar como un empotramiento perfecto, y por tanto se podría estar modelizando una estructura que no asemeja a la realidad.

2.2. Comprobaciones y dimensionamiento de los pilares

2.2.1. Agrupación de pilares

En el siguiente apartado se procede a la comprobación y dimensionamiento de los pilares con los esfuerzos pésimos mediante el programa CYPECAD.

El programa nos agrupa los pilares sometidos a esfuerzos similares, seleccionando de estas agrupaciones el pilar sometido a los mayores esfuerzos, dimensionando su armado y realizando las pertinentes comprobaciones que se estipulan en la normativa. Aplicando este armado al resto de pilares de la agrupación, facilita el montaje en obra al tener varios pilares armados iguales, que se consigue al no optimizar al máximo el número de redondos o las longitudes de anclaje/solape.

En la estructura que se ha analizado CYPECAD ha asignado los pilares a 5 agrupaciones distintas, en este caso por razones geométricas. A continuación, se detallan las agrupaciones:

- Agrupación 1: Pilares de hormigón armado con sección 50x50 cm de 3,50 m de altura.
- Agrupación 2: Pilares de hormigón armado (apeadas) con sección 30x30 cm de 3,5 m de altura.
- Agrupación 3: Pilar de hormigón armado con sección 50x50 cm de 7,00 m de altura.
- Agrupación 4: Pilares de hormigón armado con sección 65x65 cm de 3,50 m de altura que soportan las gradass superiores en cabeza
- Agrupación 5: Pilares de perfil metálico HEM 280* que soportan las gradass inferiores de 0,70 m de altura.

* Este perfil es necesario debido a que el cortante transmitido por la viga inclinada es demasiado elevado para ser resistido en cabeza por un perfil de menor espesor de ala. Se procederá a la dimensión de esta unión más adelante. Otra solución hubiera sido, al ser tan corto el tramo del perfil, reforzar el alma con chapas soldadas.

No se han dimensionado los pilares de la estructura envolvente. Únicamente se ha comprobado que estas tenían un aprovechamiento bajo para que junto con los esfuerzos actuantes en las fachadas y en cubierta no se agotara el perfil seleccionado en la Parte 2 del presente Anejo.

En la siguiente imagen se muestra la disposición en planta de las agrupaciones:

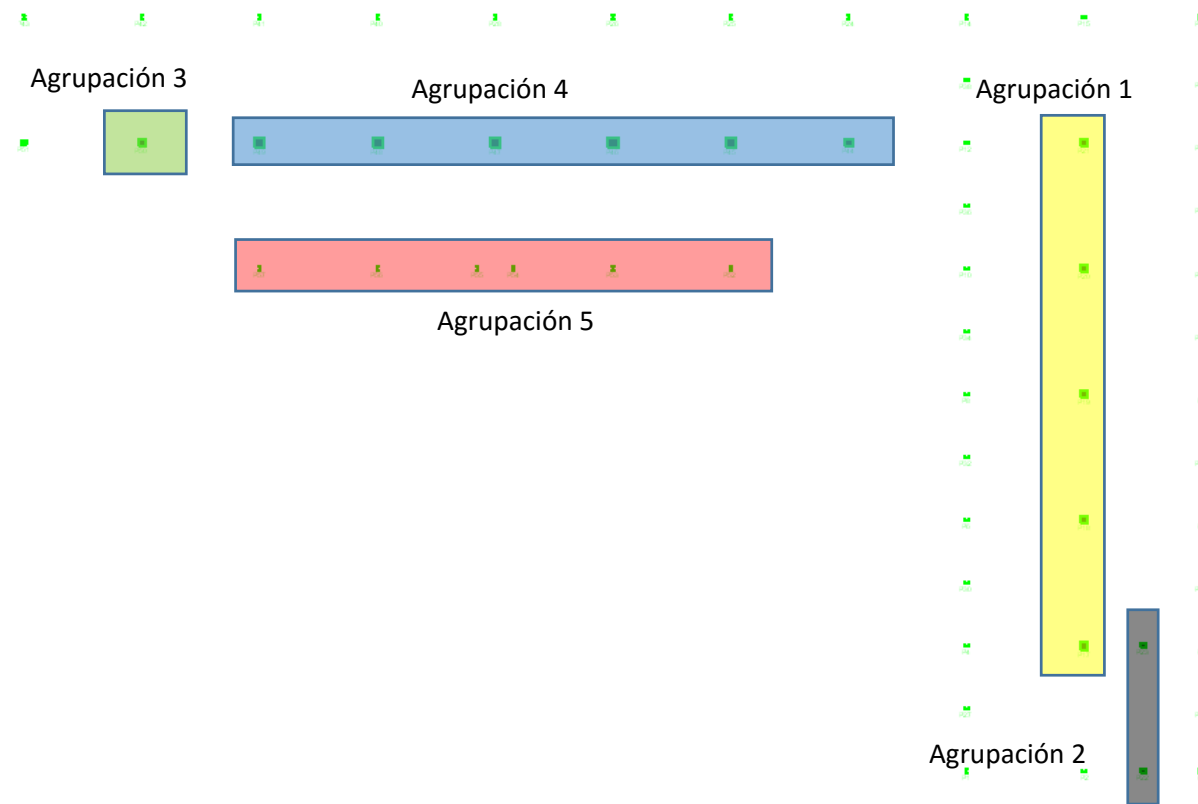


Imagen 7 – Agrupación de pilares. Fuente: Propia

2.2.2. Envolvente de esfuerzos de los pilares

En las tablas que se proporcionan a continuación, se muestran los envolventes pésimos de los pilares más desfavorables de cada agrupación:

Agrupación 1

Pilar	Esfuerzos					
	N (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Qx (kN)	Qy (kN)	Mt (kN·m)
P44	929.50	85.40	-20.10	16.00	28.30	0.00

Agrupación 2

Pilar	Esfuerzos					
	N (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Qx (kN)	Qy (kN)	Mt (kN·m)
P50	241.60	32.00	11.40	-6.90	14.50	0.00

Agrupación 3

Pilar	Esfuerzos					
	N (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Qx (kN)	Qy (kN)	Mt (kN·m)
P22	292.60	131.60	-154.40	57.00	54.50	0.00

Agrupación 4

Pilar	Esfuerzos					
	N (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Qx (kN)	Qy (kN)	Mt (kN·m)
P47	1576.90	175.00	62.50	30.80	-42.20	0.00

Agrupación 5

Pilar	Esfuerzos					
	N (kN)	Mx (kN·m)	My (kN·m)	Qx (kN)	Qy (kN)	Mt (kN·m)
P53	308.60	218.50	0.10	0.30	145.70	0.00

2.2.3. Comprobación de los pilares

El programa CYPECAD nos proporciona unos listados de comprobaciones de pilares, ya sean metálicos o de hormigón armado (las comprobaciones son distintas en los dos casos). A continuación, vamos a proporcionar los listados de las secciones de pilares (según planta y posición, que puede ser cabeza o pie) con más aprovechamiento de cada agrupación. No se proporciona los listados completos al ser estos muy extendidos.

2.2.3.1. Agrupación 1

Datos del pilar P44	
	Geometría
	Dimensiones : 50x50 cm
	Tramo : 0.000/3.500 m
	Altura libre : 3.15 m
	Recubrimiento geométrico : 3.0 cm
	Tamaño máximo de árido : 20 mm
	Materiales
	Hormigón : HA-30, Yc=1.5
	Acero : B 500 S, Ys=1.15
	Longitud de pandeo
	Plano ZX : 3.15 m
	Plano ZY : 3.15 m
	Armadura longitudinal
	Esquina : 4Ø16
	Estribos
	Perimetral : 1eØ6
	Separación : 6 - 15 - 10 cm
	Cuantía : 0.50 %

Disposiciones relativas a las armaduras (EHE-08, Artículos 42.3, 54 y 69.4.1.1)

Dimensiones mínimas

La dimensión mínima del soporte (b_{min}) debe cumplir la siguiente condición (Artículo 54):

$$500.00 \text{ mm} \geq 250.00 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Armadura longitudinal

La distancia libre d_l , horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a s_{min} (Artículo 69.4.1.1):

Donde:

s_{min} : Valor máximo de s_1 , s_2 , s_3 .

$$s_{min} : \quad 25 \quad \text{mm}$$

$$s_1 : \quad 20 \quad \text{mm}$$

$$s_2 : \quad 25 \quad \text{mm}$$

$$s_3 : \quad 16 \quad \text{mm}$$

Siendo:

d_a : Tamaño máximo del árido.

$\emptyset_{max}$: Diámetro de la barra comprimida más gruesa.

$$d_a : \quad 20 \quad \text{mm}$$

$$\emptyset_{max} : \quad 16 \quad \text{mm}$$

La separación entre dos barras consecutivas de la armadura principal debe ser de 350 mm como máximo (Artículo 54):

$$206 \text{ mm} \leq 350 \text{ mm} \quad \checkmark$$

El diámetro de la barra comprimida más delgada no será inferior a 12 mm (Artículo 54):

$$12 \text{ mm} \geq 12 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Estribos

La distancia libre d_l , horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a s_{min} (Artículo 69.4.1.1):

Donde:

s_{min} : Valor máximo de s_1 , s_2 , s_3 .

$$s_{min} : \quad 25 \quad \text{mm}$$

$$s_1 : \quad 20 \quad \text{mm}$$

$$s_2 : \quad 25 \quad \text{mm}$$

Siendo:

d_a : Tamaño máximo del árido.

$\emptyset_{max}$: Diámetro de la barra más gruesa de la armadura transversal.

Para poder tener en cuenta las armaduras pasivas en compresión, es necesario que vayan sujetas por cercos o estribos cuya separación s_t y diámetro $\emptyset_t$ cumplan (Artículo 42.3.1):

$$s_3 : \quad 6 \quad \text{mm}$$

$$d_a : \quad 20 \quad \text{mm}$$

$$\emptyset_{max} : \quad 6 \quad \text{mm}$$

$$60 \text{ mm} \leq 180 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$60 \text{ mm} \leq 500 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

$\emptyset_{min}$: Diámetro de la barra comprimida más delgada.

b_{min} : Dimensión mínima de la sección.

$$\emptyset_{min} : \quad 12 \quad \text{mm}$$

$$b_{min} : \quad 500.00 \quad \text{mm}$$

$$6 \text{ mm} \geq 4 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

$\emptyset_{max}$: Diámetro de la barra comprimida más gruesa.

$$\emptyset_{max} : \quad 16 \quad \text{mm}$$

Armadura mínima y máxima (EHE-08, Artículo 42.3)

Cuantía geométrica mínima de armadura principal (Artículo 42.3.5)

La cuantía geométrica de armadura principal ρ_l en pilares con barras de acero $f_{yk}=500.00$ MPa debe cumplir:

$$0.0050 \geq 0.0040 \quad \checkmark$$

Armadura longitudinal mínima para secciones en compresión simple o compuesta (Artículo 42.3.3)

En secciones sometidas a compresión simple o compuesta, las armaduras principales deben cumplir la siguiente limitación:

$$502.66 \text{ kN} \geq 95.54 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

A'_s : Área total de la armadura comprimida.

$f_{yc,d}$: Resistencia de cálculo del acero a compresión.

$$A'_s : \quad 12.57 \quad \text{cm}^2$$

$$f_{yc,d} : \quad 400.00 \quad \text{MPa}$$

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : \quad 955.36 \quad \text{kN}$$

Armadura longitudinal máxima para secciones en compresión simple o compuesta (Artículo 42.3.3)

En secciones sometidas a compresión simple o compuesta, las armaduras principales deben cumplir la siguiente limitación:

$$502.66 \text{ kN} \leq 5000.00 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

A'_s : Área total de la armadura comprimida.

$f_{yc,d}$: Resistencia de cálculo del acero a compresión.

$$A'_s : \quad 12.57 \quad \text{cm}^2$$

$$f_{yc,d} : \quad 400.00 \quad \text{MPa}$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

A_c : Área total de la sección de hormigón.

$$f_{cd} : \quad 20.00 \quad \text{MPa}$$

$$A_c : \quad 2500.00 \quad \text{cm}^2$$

Estado límite de agotamiento frente a cortante (EHE-08, Artículo 44)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.033} \quad \checkmark$$

Donde:

V_{rd1}: Esfuerzo cortante efectivo de cálculo.

$$\mathbf{V_{rd1,x}} : \underline{14.09} \text{ kN}$$

$$\mathbf{V_{rd1,y}} : \underline{41.51} \text{ kN}$$

V_{u1}: Esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

$$\mathbf{V_{u1,x}} : \underline{1270.62} \text{ kN}$$

$$\mathbf{V_{u1,y}} : \underline{1346.72} \text{ kN}$$

$$\eta : \underline{0.190} \quad \checkmark$$

Donde:

V_{rd2}: Esfuerzo cortante efectivo de cálculo.

$$\mathbf{V_{rd2,x}} : \underline{14.09} \text{ kN}$$

$$\mathbf{V_{rd2,y}} : \underline{41.51} \text{ kN}$$

V_{u2}: Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

$$\mathbf{V_{u2}} : \underline{230.40} \text{ kN}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en 'Cabeza', para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(C).

Esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

El esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua del alma se deduce de la siguiente expresión:

Cortante en la dirección X:

$$\mathbf{V_{u1}} : \underline{1270.62} \text{ kN}$$

Donde:

K: Coeficiente que depende del esfuerzo axil.

$$\mathbf{K} : \underline{1.08}$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$\mathbf{f_{cd}} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

σ'_{cd}: Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

$$\sigma'_{cd} : \underline{1.53} \text{ MPa}$$

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

$$\mathbf{N_d} : \underline{928.64} \text{ kN}$$

A_c: Área total de la sección de hormigón.

$$\mathbf{A_c} : \underline{2500.00} \text{ cm}^2$$

A'_s: Área total de la armadura comprimida.

$$\mathbf{A'_s} : \underline{12.57} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{434.78} \text{ MPa}$$

f_{1cd}: Resistencia a compresión del hormigón

$$\mathbf{f_{1cd}} : \underline{12.00} \text{ MPa}$$

f_{ck}: Resistencia característica del hormigón.

$$\mathbf{f_{ck}} : \underline{30.00} \text{ MPa}$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$\mathbf{f_{cd}} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

b_o: Anchura neta mínima del elemento.

$$\mathbf{b_o} : \underline{500.00} \text{ mm}$$

d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

$$\mathbf{d} : \underline{393.46} \text{ mm}$$

α: Ángulo de los estribos con el eje de la pieza.

$$\alpha : \underline{90.0} \text{ grados}$$

θ: Ángulo entre la biela de compresión de hormigón y el eje de la pieza.

$$\theta : \underline{45.0} \text{ grados}$$

Cortante en la dirección Y:

$$\mathbf{V_{u1}} : \underline{1346.72} \text{ kN}$$

Donde:

K: Coeficiente que depende del esfuerzo axil.

$$\mathbf{K} : \underline{1.14}$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$\mathbf{f_{cd}} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

σ'_{cd}: Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

$$\sigma'_{cd} : \underline{2.82} \text{ MPa}$$

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

$$\mathbf{N_d} : \underline{928.64} \text{ kN}$$

A_c: Área total de la sección de hormigón.

$$\mathbf{A_c} : \underline{2500.00} \text{ cm}^2$$

A'_s: Área total de la armadura comprimida.

$$\mathbf{A'_s} : \underline{5.15} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{434.78} \text{ MPa}$$

f_{1cd}: Resistencia a compresión del hormigón

$$\mathbf{f_{1cd}} : \underline{12.00} \text{ MPa}$$

f_{ck}: Resistencia característica del hormigón.

$$\mathbf{f_{ck}} : \underline{30.00} \text{ MPa}$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$\mathbf{f_{cd}} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

b_o: Anchura neta mínima del elemento.

$$\mathbf{b_o} : \underline{500.00} \text{ mm}$$

d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

$$\mathbf{d} : \underline{393.46} \text{ mm}$$

α: Ángulo de los estribos con el eje de la pieza.

$$\alpha : \underline{90.0} \text{ grados}$$

θ: Ángulo entre la biela de compresión de hormigón y el eje de la pieza.

$$\theta : \underline{45.0} \text{ grados}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en 'Cabeza', para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(C).

Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

Cortante en la dirección X:

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma en piezas sin armadura de cortante se obtiene como:

$$\mathbf{V_{u2}} : \underline{200.38} \text{ kN}$$

con un valor mínimo de:

$$\mathbf{V_{u2,min}} : \underline{230.40} \text{ kN}$$

Donde:

b₀: Anchura neta mínima del elemento. **b₀** : 500.00 mm
d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión. **d** : 393.46 mm
γ_c: Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón. **γ_c** : 1.5
ξ: Coeficiente que depende del canto útil 'd'. **ξ** : 1.71

f_{cv}: Resistencia efectiva del hormigón a cortante en N/mm². **f_{cv}** : 30.00 MPa

f_{ck}: Resistencia característica del hormigón. **f_{ck}** : 30.00 MPa
σ'_{cd}: Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras. **σ'_{cd}** : 3.71 MPa

N_d: Esfuerzo normal de cálculo. **N_d** : 928.64 kN
A_c: Área total de la sección de hormigón. **A_c** : 2500.00 cm²
f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón. **f_{cd}** : 20.00 MPa
ρ_l: Cuantía geométrica de la armadura longitudinal principal de tracción. **ρ_l** : 0.0038

A_s: Área de la armadura longitudinal principal de tracción. **A_s** : 7.41 cm²

σ'_{cd}: Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

σ'_{cd} : 3.71 MPa

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.
A_c: Área total de la sección de hormigón.
f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.
ρ_l: Cuantía geométrica de la armadura longitudinal principal de tracción.

N_d : 928.64 kN
A_c : 2500.00 cm²
f_{cd} : 20.00 MPa
ρ_l : 0.0038

A_s: Área de la armadura longitudinal principal de tracción. **A_s** : 7.41 cm²

Estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales (EHE-08, Artículo 42)

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en 'Cabeza', para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(C).

Se debe satisfacer:

η : 0.294 ✓

Cortante en la dirección Y:

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma en piezas sin armadura de cortante se obtiene como:

V_{u2} : 200.38 kN

con un valor mínimo de:

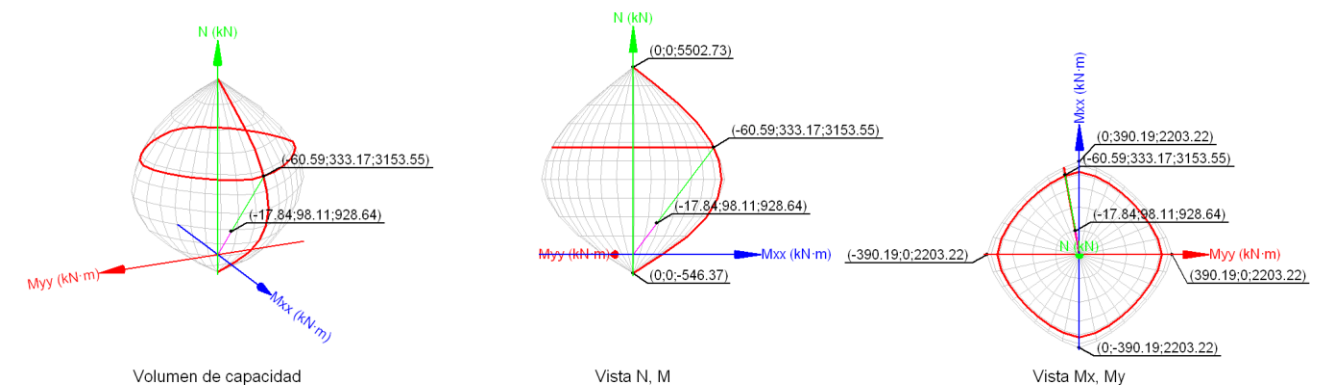
V_{u2,min} : 230.40 kN

Donde:

b₀: Anchura neta mínima del elemento. **b₀** : 500.00 mm
d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión. **d** : 393.46 mm
γ_c: Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón. **γ_c** : 1.5
ξ: Coeficiente que depende del canto útil 'd'. **ξ** : 1.71

f_{cv}: Resistencia efectiva del hormigón a cortante en N/mm². **f_{cv}** : 30.00 MPa

f_{ck}: Resistencia característica del hormigón. **f_{ck}** : 30.00 MPa



Comprobación de resistencia de la sección (η₁)

N_{ed}, M_{ed} son los esfuerzos de cálculo de primer orden, incluyendo, en su caso, la excentricidad mínima según 42.2.1:

N_{ed}: Esfuerzo normal de cálculo.
M_{ed}: Momento de cálculo de primer orden.

N_{ed} : 928.64 kN
M_{ed,x} : 98.11 kN·m
M_{ed,y} : -17.84 kN·m

N_{Rd}, M_{Rd} son los esfuerzos que producen el agotamiento de la sección con las mismas excentricidades que los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos.

N_{Rd}: Axil de agotamiento.
M_{Rd}: Momentos de agotamiento.

N_{Rd} : 3153.55 kN
M_{Rd,x} : 333.17 kN·m

Donde:

$$M_{Rd,y} : \underline{-60.59} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

i_c : Radio de giro de la sección de hormigón.

A_c : Área total de la sección de hormigón.

I : Inercia.

$$i_c : \underline{14.43} \text{ cm}$$

$$A_c : \underline{2500.00} \text{ cm}^2$$

$$I : \underline{520833.33} \text{ cm}^4$$

Siendo:

e_e : Excentricidad de primer orden. Se calcula teniendo en cuenta la excentricidad mínima e_{min} según el artículo 42.2.1.

En este caso, alguna de las excentricidades $e_{0,x}$, $e_{0,y}$ es superior a la mínima.

$$e_{e,x} : \underline{-19.21} \text{ mm}$$

$$e_{e,y} : \underline{105.65} \text{ mm}$$

Donde:

En el eje x:

$$e_{min} : \underline{25.00} \text{ mm}$$

h : Canto de la sección en el plano de flexión considerado.

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

$$e_0 : \underline{-19.21} \text{ mm}$$

Donde:

M_d : Momento de cálculo de primer orden.

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

$$M_d : \underline{-17.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_d : \underline{928.64} \text{ kN}$$

En el eje y:

$$e_{min} : \underline{25.00} \text{ mm}$$

h : Canto de la sección en el plano de flexión considerado.

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

$$e_0 : \underline{105.65} \text{ mm}$$

Donde:

M_d : Momento de cálculo de primer orden.

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

$$M_d : \underline{98.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$N_d : \underline{928.64} \text{ kN}$$

Comprobación del estado limite de inestabilidad

En el eje x:

Los efectos de segundo orden pueden ser despreciados, ya que la esbeltez mecánica del soporte λ es menor que la esbeltez límite inferior λ_{inf} indicada en 43.1.2.

$$\lambda : \underline{21.82}$$

Donde:

l_0 : Longitud de pandeo.

$$l_0 : \underline{3.150} \text{ m}$$

Donde:

e_2 : Excentricidad de primer orden correspondiente al mayor momento, considerada positiva.

e_1 : En estructuras traslacionales es igual a e_2 .

h : Canto de la sección en el plano de flexión considerado.

C : Coeficiente que depende de la disposición de armaduras.

v : Axil adimensional o reducido de cálculo que solicita el soporte.

$$e_2 : \underline{105.65} \text{ mm}$$

$$e_1 : \underline{105.65} \text{ mm}$$

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

$$C : \underline{0.22}$$

$$v : \underline{0.19}$$

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

A_c : Área total de la sección de hormigón.

$$N_d : \underline{928.64} \text{ kN}$$

$$f_{cd} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

$$A_c : \underline{2500.00} \text{ cm}^2$$

En el eje y:

Los efectos de segundo orden pueden ser despreciados, ya que la esbeltez mecánica del soporte λ es menor que la esbeltez límite inferior λ_{inf} indicada en 43.1.2.

$$\lambda : \underline{21.82}$$

Donde:

l_0 : Longitud de pandeo.

i_c : Radio de giro de la sección de hormigón.

A_c : Área total de la sección de hormigón.

I : Inercia.

$$l_0 : \underline{3.150} \text{ m}$$

$$i_c : \underline{14.43} \text{ cm}$$

$$A_c : \underline{2500.00} \text{ cm}^2$$

$$I : \underline{520833.33} \text{ cm}^4$$

$$\lambda_{inf} : \underline{100.00}$$

Donde:

e_2 : Excentricidad de primer orden correspondiente al mayor momento, considerada positiva.

e_1 : En estructuras traslacionales es igual a e_2 .

h : Canto de la sección en el plano de flexión considerado.

C : Coeficiente que depende de la disposición de armaduras.

v : Axil adimensional o reducido de cálculo que solicita el soporte.

$$e_2 : \underline{-19.21} \text{ mm}$$

$$e_1 : \underline{-19.21} \text{ mm}$$

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

$$C : \underline{0.22}$$

$$v : \underline{0.19}$$

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : \underline{928.64} \text{ kN}$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.
 A_c : Área total de la sección de hormigón.

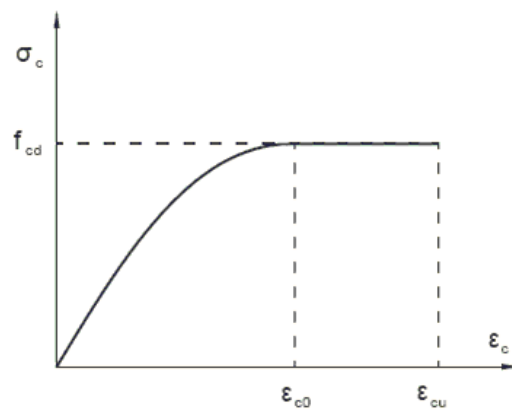
f_{cd} : 20.00 MPa
 A_c : 2500.00 cm²

Cálculo de la capacidad resistente

El cálculo de la capacidad resistente última de las secciones se efectúa a partir de las hipótesis generales siguientes (Artículo 42.1):

- El agotamiento se caracteriza por el valor de la deformación en determinadas fibras de la sección, definidas por los dominios de deformación de agotamiento.
- Las deformaciones del hormigón siguen una ley plana.
- Las deformaciones ϵ_s de las armaduras pasivas se mantienen iguales a las del hormigón que las envuelve.
- Diagramas de cálculo.

- El diagrama de cálculo tensión-deformación del hormigón es del tipo parábola rectángulo. No se considera la resistencia del hormigón a tracción.



f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

ϵ_{cd} : Deformación de rotura del hormigón en compresión simple.

ϵ_{cu} : Deformación de rotura del hormigón en flexión.

Se considera como resistencia de cálculo del hormigón en compresión el valor:

f_{cd} : 20.00 MPa
 ϵ_{cd} : 0.0020
 ϵ_{cu} : 0.0035

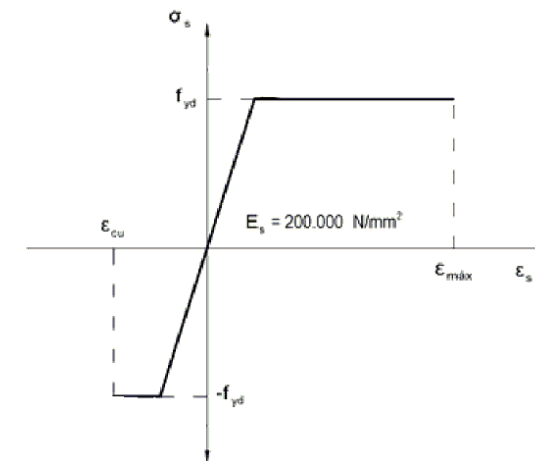
α_{cc} : Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de compresión debido a cargas de larga duración.

f_{ck} : Resistencia característica del hormigón.

γ_c : Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.

α_{cc} : 1.00
 f_{ck} : 30.00 MPa
 γ_c : 1.5

- Se adopta el siguiente diagrama de cálculo tensión-deformación del acero de las armaduras pasivas.



f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

ϵ_{max} : Deformación máxima del acero en tracción.

ϵ_{cu} : Deformación de rotura del hormigón en flexión.

Se considera como resistencia de cálculo del acero el valor:

f_{yd} : 434.78 MPa
 ϵ_{max} : 0.0100
 ϵ_{cu} : 0.0035

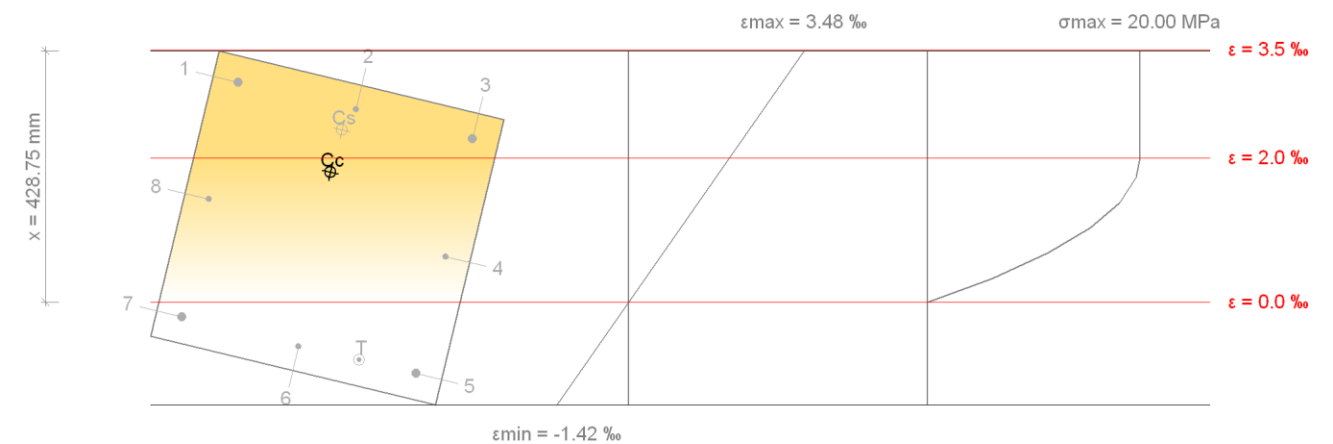
f_{yk} : Resistencia característica de proyecto

γ_s : Coeficiente parcial de seguridad.

f_{yk} : 500.00 MPa
 γ_s : 1.15

- Se aplican a las resultantes de tensiones en la sección las ecuaciones generales de equilibrio de fuerzas y de momentos.

Equilibrio de la sección para los esfuerzos de agotamiento, calculados con las mismas excentricidades que los esfuerzos de cálculo pésimos:



Barra	Designación	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
1	Ø16	-206.00	206.00	+400.00	+0.003051
2	Ø12	0.00	208.00	+400.00	+0.002674
3	Ø16	206.00	206.00	+400.00	+0.002265



Barra	Designación	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
4	Ø12	208.00	0.00	+126.98	+0.000635
5	Ø16	206.00	-206.00	-197.54	-0.000988
6	Ø12	0.00	-208.00	-122.09	-0.000610
7	Ø16	-206.00	-206.00	-40.32	-0.000202
8	Ø12	-208.00	0.00	+285.72	+0.001429

	Resultante (kN)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	2962.42	-17.00	93.81
Cs	252.76	-14.77	168.32
T	61.63	105.65	-206.45

$N_{Rd} : 3153.55 \text{ kN}$

$M_{Rd,x} : 333.17 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{Rd,y} : -60.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

C_c : Resultante de compresiones en el hormigón.

C_s : Resultante de compresiones en el acero.

T : Resultante de tracciones en el acero.

e_{cc} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.

e_{cs} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

e_T : Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

ϵ_{cmax} : Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.

ϵ_{smax} : Deformación de la barra de acero más traccionada.

σ_{cmax} : Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.

σ_{smax} : Tensión de la barra de acero más traccionada.

$C_c : 2962.42 \text{ kN}$

$C_s : 252.76 \text{ kN}$

$T : 61.63 \text{ kN}$

$e_{cc,x} : -17.00 \text{ mm}$

$e_{cc,y} : 93.81 \text{ mm}$

$e_{cs,x} : -14.77 \text{ mm}$

$e_{cs,y} : 168.32 \text{ mm}$

$e_{T,x} : 105.65 \text{ mm}$

$e_{T,y} : -206.45 \text{ mm}$

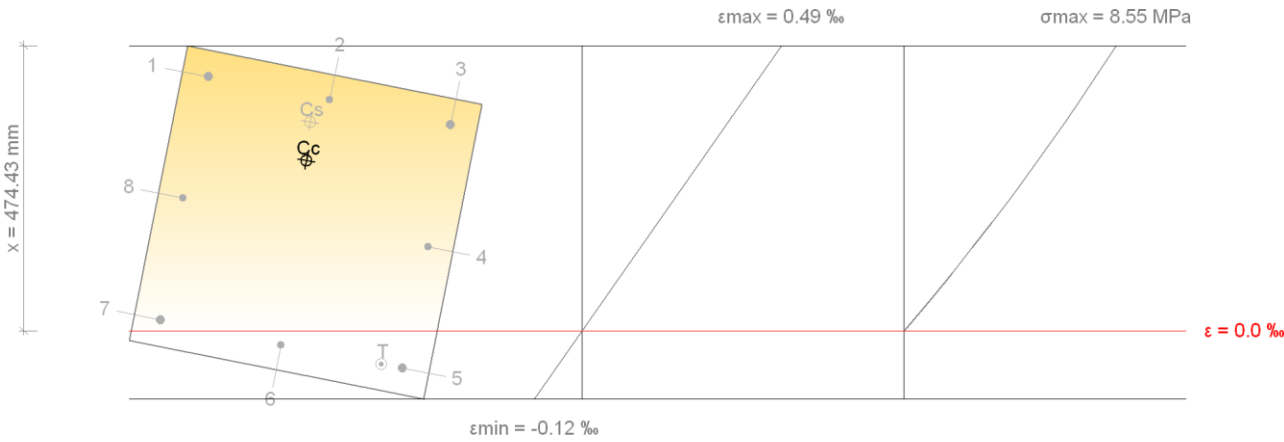
$\epsilon_{cmax} : 0.0035$

$\epsilon_{smax} : 0.0010$

$\sigma_{cmax} : 20.00 \text{ MPa}$

$\sigma_{smax} : 197.54 \text{ MPa}$

Equilibrio de la sección para los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos:



Barra	Designación	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
1	Ø16	-206.00	206.00	+86.73	+0.000434
2	Ø12	0.00	208.00	+78.90	+0.000394
3	Ø16	206.00	206.00	+70.26	+0.000351
4	Ø12	208.00	0.00	+28.73	+0.000144
5	Ø16	206.00	-206.00	-12.65	-0.000063
6	Ø12	0.00	-208.00	-4.82	-0.000024
7	Ø16	-206.00	-206.00	+3.81	+0.000019
8	Ø12	-208.00	0.00	+45.35	+0.000227

	Resultante (kN)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	882.10	-18.24	101.21
Cs	49.63	-24.80	165.22
T	3.09	169.64	-206.35

$N_{ed} : 928.64 \text{ kN}$

$M_{ed,x} : 98.11 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{ed,y} : -17.84 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

C_c : Resultante de compresiones en el hormigón.

C_s : Resultante de compresiones en el acero.

T : Resultante de tracciones en el acero.

$C_c : 882.10 \text{ kN}$

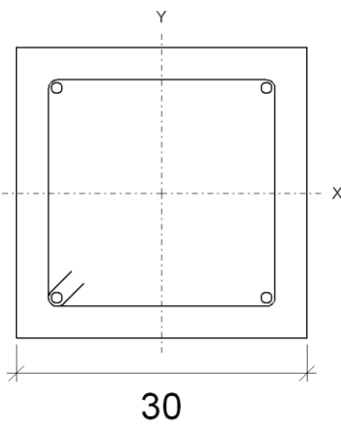
$C_s : 49.63 \text{ kN}$

$T : 3.09 \text{ kN}$

$e_{cc,x} : -18.24 \text{ mm}$

e_{cc} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.	$e_{cc,y}$: <u>101.21</u> mm
e_{cs} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.	$e_{cs,x}$: <u>-24.80</u> mm
e_T : Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.	$e_{cs,y}$: <u>165.22</u> mm
ϵ_{cmax} : Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.	$e_{T,x}$: <u>169.64</u> mm
ϵ_{smax} : Deformación de la barra de acero más traccionada.	$e_{T,y}$: <u>-206.35</u> mm
σ_{cmax} : Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.	ϵ_{cmax} : <u>0.0005</u>
σ_{smax} : Tensión de la barra de acero más traccionada.	ϵ_{smax} : <u>0.0001</u>
	σ_{cmax} : <u>8.55</u> MPa
	σ_{smax} : <u>12.65</u> MPa

2.2.3.2. Agrupación 2

Datos del pilar P22	
	Geometría
	Dimensiones : 30x30 cm
	Tramo : 0.000/3.500 m
	Altura libre : 3.15 m
	Recubrimiento geométrico : 3.0 cm
	Tamaño máximo de árido : 20 mm
	Materiales
	Hormigón : HA-30, $Y_c=1.5$
	Acero : B 500 S, $Y_s=1.15$
	Longitud de pandeo
Armadura longitudinal Esquina : 4Ø12 Cuantía : 0.50 %	Plano ZX : 3.15 m
	Plano ZY : 3.15 m
	Estribos
	Perimetral : 1eØ6
	Separación : 6 - 15 - 10 cm

Disposiciones relativas a las armaduras (EHE-08, Artículos 42.3, 54 y 69.4.1.1)

Dimensiones mínimas

La dimensión mínima del soporte (b_{min}) debe cumplir la siguiente condición (Artículo 54):

$$300.00 \text{ mm} \geq 250.00 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Armadura longitudinal

La distancia libre d_i , horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a s_{min} (Artículo 69.4.1.1):

$$204 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

s_{min} : Valor máximo de s_1, s_2, s_3 .

$$s_{min} : \underline{25} \text{ mm}$$

$$s_1 : \underline{20} \text{ mm}$$

$$s_2 : \underline{25} \text{ mm}$$

Siendo:

d_a : Tamaño máximo del árido.

ϕ_{max} : Diámetro de la barra comprimida más gruesa.

$$s_3 : \underline{12} \text{ mm}$$

$$d_a : \underline{20} \text{ mm}$$

$$\phi_{max} : \underline{12} \text{ mm}$$

La separación entre dos barras consecutivas de la armadura principal debe ser de 350 mm como máximo (Artículo 54):

$$216 \text{ mm} \leq 350 \text{ mm} \quad \checkmark$$

El diámetro de la barra comprimida más delgada no será inferior a 12 mm (Artículo 54):

$$12 \text{ mm} \geq 12 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Estribos

La distancia libre d_i , horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a s_{min} (Artículo 69.4.1.1):

$$54 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

s_{min} : Valor máximo de s_1, s_2, s_3 .

$$s_{min} : \underline{25} \text{ mm}$$

$$s_1 : \underline{20} \text{ mm}$$

$$s_2 : \underline{25} \text{ mm}$$

$$s_3 : \underline{6} \text{ mm}$$

Siendo:

d_a : Tamaño máximo del árido.

ϕ_{max} : Diámetro de la barra más gruesa de la armadura transversal.

$$d_a : \underline{20} \text{ mm}$$

$$\phi_{max} : \underline{6} \text{ mm}$$

Para poder tener en cuenta las armaduras pasivas en compresión, es necesario que vayan sujetas por cercos o estribos cuya separación s_t y diámetro ϕ_t cumplan (Artículo 42.3.1):

$$60 \text{ mm} \leq 180 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$60 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

ϕ_{min} : Diámetro de la barra comprimida más delgada.

b_{min} : Dimensión mínima de la sección.

$$\phi_{min} : \underline{12} \text{ mm}$$

$$b_{min} : \underline{300.00} \text{ mm}$$

$$6 \text{ mm} \geq 3 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

ϕ_{max} : Diámetro de la barra comprimida más gruesa.

$$\phi_{max} : \underline{12} \text{ mm}$$

Armadura mínima y máxima (EHE-08, Artículo 42.3)

Cuantía geométrica mínima de armadura principal (Artículo 42.3.5)

La cuantía geométrica de armadura principal ρ_l en pilares con barras de acero $f_{yk}=500.00$ MPa debe cumplir:

$$0.0050 \geq 0.0040 \quad \checkmark$$

Armadura longitudinal mínima para secciones en compresión simple o compuesta (Artículo 42.3.3)

En secciones sometidas a compresión simple o compuesta, las armaduras principales deben cumplir la siguiente limitación:

$$180.96 \text{ kN} \geq 23.72 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

A'_s : Área total de la armadura comprimida.

$f_{yc,d}$: Resistencia de cálculo del acero a compresión.

$$A'_s : \frac{4.52}{400.00} \text{ cm}^2 \text{ MPa}$$

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : \frac{237.17}{\text{ kN}}$$

Armadura longitudinal máxima para secciones en compresión simple o compuesta (Artículo 42.3.3)

En secciones sometidas a compresión simple o compuesta, las armaduras principales deben cumplir la siguiente limitación:

$$180.96 \text{ kN} \leq 1800.00 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

A'_s : Área total de la armadura comprimida.

$f_{yc,d}$: Resistencia de cálculo del acero a compresión.

$$A'_s : \frac{4.52}{400.00} \text{ cm}^2 \text{ MPa}$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

A_c : Área total de la sección de hormigón.

$$f_{cd} : \frac{20.00}{900.00} \text{ MPa cm}^2$$

Estado límite de agotamiento frente a cortante (EHE-08, Artículo 44)

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.032 \quad \checkmark$$

Donde:

V_{rd1} : Esfuerzo cortante efectivo de cálculo.

$$V_{rd1,x} : \frac{4.90}{\text{ kN}}$$

$$V_{rd1,y} : \frac{14.99}{\text{ kN}}$$

V_{u1} : Esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

$$V_{u1,x} : \frac{472.39}{\text{ kN}}$$

$$V_{u1,y} : \frac{497.76}{\text{ kN}}$$

$$\eta : 0.188 \quad \checkmark$$

Donde:

V_{rd2} : Esfuerzo cortante efectivo de cálculo.

$$V_{rd2,x} : \frac{4.90}{\text{ kN}}$$

$$V_{rd2,y} : \frac{14.99}{\text{ kN}}$$

$$V_{u2} : \frac{84.03}{\text{ kN}}$$

V_{u2} : Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en 'Cabeza', para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(C).

Esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

El esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua del alma se deduce de la siguiente expresión:

Cortante en la dirección X:

$$V_{u1} : \frac{472.39}{\text{ kN}}$$

Donde:

K : Coeficiente que depende del esfuerzo axil.

$$K : \frac{1.02}{\text{ }}$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \frac{20.00}{\text{ MPa}}$$

σ'_{cd} : Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

$$\sigma'_{cd} : \frac{0.34}{\text{ MPa}}$$

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : \frac{227.67}{\text{ kN}}$$

A_c : Área total de la sección de hormigón.

$$A_c : \frac{900.00}{\text{ cm}^2}$$

A'_s : Área total de la armadura comprimida.

$$A'_s : \frac{4.52}{\text{ cm}^2}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \frac{434.78}{\text{ MPa}}$$

f_{1cd} : Resistencia a compresión del hormigón

$$f_{1cd} : \frac{12.00}{\text{ MPa}}$$

f_{ck} : Resistencia característica del hormigón.

$$f_{ck} : \frac{30.00}{\text{ MPa}}$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \frac{20.00}{\text{ MPa}}$$

b_o : Anchura neta mínima del elemento.

$$b_o : \frac{300.00}{\text{ mm}}$$

d : Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

$$d : \frac{258.00}{\text{ mm}}$$

α : Ángulo de los estribos con el eje de la pieza.

$$\alpha : \frac{90.0}{\text{ grados}}$$

θ : Ángulo entre la biela de compresión de hormigón y el eje de la pieza.

$$\theta : \frac{45.0}{\text{ grados}}$$

Cortante en la dirección Y:

$$V_{u1} : \frac{497.76}{\text{ kN}}$$

Donde:

K : Coeficiente que depende del esfuerzo axil.

$$K : \frac{1.07}{\text{ }}$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \frac{20.00}{\text{ MPa}}$$



σ'_{cd} : Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

$$\sigma'_{cd} : \underline{1.44} \text{ MPa}$$

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

$$\mathbf{N_d} : \underline{227.67} \text{ kN}$$

A_c: Área total de la sección de hormigón.

$$\mathbf{A_c} : \underline{900.00} \text{ cm}^2$$

A'_s: Área total de la armadura comprimida.

$$\mathbf{A'_s} : \underline{2.26} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{434.78} \text{ MPa}$$

f_{1cd}: Resistencia a compresión del hormigón

$$\mathbf{f_{1cd}} : \underline{12.00} \text{ MPa}$$

f_{ck}: Resistencia característica del hormigón.

$$\mathbf{f_{ck}} : \underline{30.00} \text{ MPa}$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$\mathbf{f_{cd}} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

b₀: Anchura neta mínima del elemento.

$$\mathbf{b_0} : \underline{300.00} \text{ mm}$$

d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

$$\mathbf{d} : \underline{258.00} \text{ mm}$$

α : Ángulo de los estribos con el eje de la pieza.

$$\alpha : \underline{90.0} \text{ grados}$$

θ : Ángulo entre la biela de compresión de hormigón y el eje de la pieza.

$$\theta : \underline{45.0} \text{ grados}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en 'Cabeza', para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(C).

Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

Cortante en la dirección X:

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma en piezas sin armadura de cortante se obtiene como:

$$\mathbf{V_{u2}} : \underline{65.38} \text{ kN}$$

con un valor mínimo de:

$$\mathbf{V_{u2,min}} : \underline{84.03} \text{ kN}$$

Donde:

b₀: Anchura neta mínima del elemento.

$$\mathbf{b_0} : \underline{300.00} \text{ mm}$$

d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

$$\mathbf{d} : \underline{258.00} \text{ mm}$$

γ_c : Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.

$$\gamma_c : \underline{1.5}$$

ξ : Coeficiente que depende del canto útil 'd'.

$$\xi : \underline{1.88}$$

f_{cv}: Resistencia efectiva del hormigón a cortante en N/mm².

$$\mathbf{f_{cv}} : \underline{30.00} \text{ MPa}$$

f_{ck}: Resistencia característica del hormigón.

$$\mathbf{f_{ck}} : \underline{30.00} \text{ MPa}$$

σ'_{cd} : Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

$$\sigma'_{cd} : \underline{2.53} \text{ MPa}$$

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

$$\mathbf{N_d} : \underline{227.67} \text{ kN}$$

A_c: Área total de la sección de hormigón.

$$\mathbf{A_c} : \underline{900.00} \text{ cm}^2$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$\mathbf{f_{cd}} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

ρ_l : Cuantía geométrica de la armadura longitudinal principal de tracción.

$$\rho_l : \underline{0.0029}$$

A_s: Área de la armadura longitudinal principal de tracción.

$$\mathbf{A_s} : \underline{2.26} \text{ cm}^2$$

Cortante en la dirección Y:

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma en piezas sin armadura de cortante se obtiene como:

$$\mathbf{V_{u2}} : \underline{65.38} \text{ kN}$$

con un valor mínimo de:

$$\mathbf{V_{u2,min}} : \underline{84.03} \text{ kN}$$

Donde:

b₀: Anchura neta mínima del elemento.

$$\mathbf{b_0} : \underline{300.00} \text{ mm}$$

d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

$$\mathbf{d} : \underline{258.00} \text{ mm}$$

γ_c : Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.

$$\gamma_c : \underline{1.5}$$

ξ : Coeficiente que depende del canto útil 'd'.

$$\xi : \underline{1.88}$$

f_{cv}: Resistencia efectiva del hormigón a cortante en N/mm².

$$\mathbf{f_{cv}} : \underline{30.00} \text{ MPa}$$

f_{ck}: Resistencia característica del hormigón.

$$\mathbf{f_{ck}} : \underline{30.00} \text{ MPa}$$

σ'_{cd} : Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

$$\sigma'_{cd} : \underline{2.53} \text{ MPa}$$

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

$$\mathbf{N_d} : \underline{227.67} \text{ kN}$$

A_c: Área total de la sección de hormigón.

$$\mathbf{A_c} : \underline{900.00} \text{ cm}^2$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$\mathbf{f_{cd}} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

ρ_l : Cuantía geométrica de la armadura longitudinal principal de tracción.

$$\rho_l : \underline{0.0029}$$

A_s: Área de la armadura longitudinal principal de tracción.

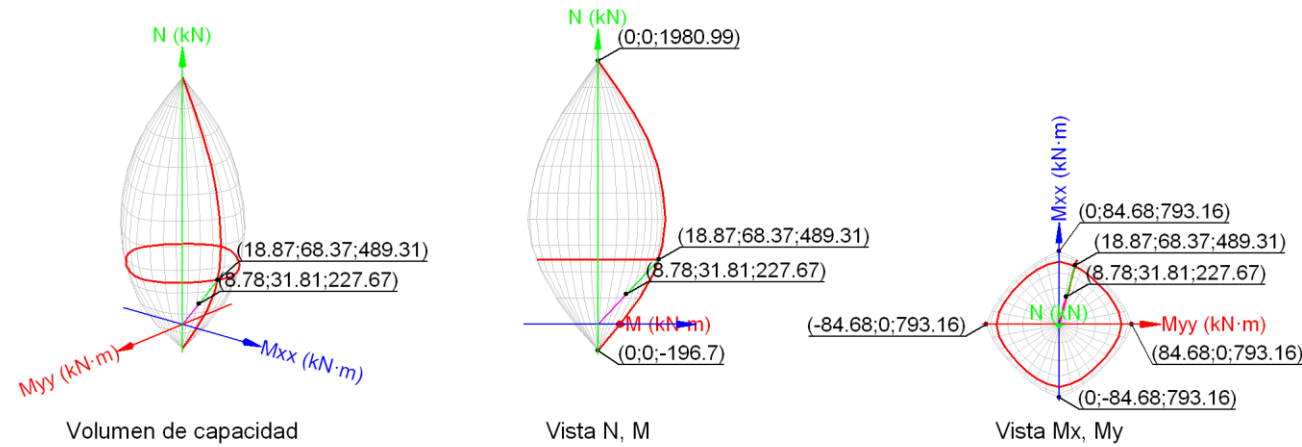
$$\mathbf{A_s} : \underline{2.26} \text{ cm}^2$$

Estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales (EHE-08, Artículo 42)

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en 'Cabeza', para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(C).

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.465 \checkmark$$



Comprobación de resistencia de la sección (η_1)

N_{ed}, M_{ed} son los esfuerzos de cálculo de primer orden, incluyendo, en su caso, la excentricidad mínima según 42.2.1:

N_{ed} : Esfuerzo normal de cálculo.

M_{ed} : Momento de cálculo de primer orden.

$$\begin{aligned} N_{ed} &: 227.67 \text{ kN} \\ M_{ed,x} &: 31.81 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{ed,y} &: 8.78 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

N_{Rd}, M_{Rd} son los esfuerzos que producen el agotamiento de la sección con las mismas excentricidades que los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos.

N_{Rd} : Axil de agotamiento.

M_{Rd} : Momentos de agotamiento.

$$\begin{aligned} N_{Rd} &: 489.31 \text{ kN} \\ M_{Rd,x} &: 68.37 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{Rd,y} &: 18.87 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

Donde:

Siendo:

e_e : Excentricidad de primer orden. Se calcula teniendo en cuenta la excentricidad mínima e_{min} según el artículo 42.2.1.

En este caso, las excentricidades $e_{0,x}$ y $e_{0,y}$ son superiores a la mínima.

$$\begin{aligned} e_{e,x} &: 38.57 \text{ mm} \\ e_{e,y} &: 139.72 \text{ mm} \end{aligned}$$

Donde:

En el eje x:

$$e_{min} : 20.00 \text{ mm}$$

h : Canto de la sección en el plano de flexión considerado.

$$h : 300.00 \text{ mm}$$

$$e_o : 38.57 \text{ mm}$$

Donde:

M_d : Momento de cálculo de primer orden.

$$M_d : 8.78 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : 227.67 \text{ kN}$$

En el eje y:

$$e_{min} : 20.00 \text{ mm}$$

h : Canto de la sección en el plano de flexión considerado.

$$h : 300.00 \text{ mm}$$

$$e_o : 139.72 \text{ mm}$$

Donde:

M_d : Momento de cálculo de primer orden.

$$M_d : 31.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : 227.67 \text{ kN}$$

Comprobación del estado limite de inestabilidad

En el eje x:

Los efectos de segundo orden pueden ser despreciados, ya que la esbeltez mecánica del soporte λ es menor que la esbeltez límite inferior λ_{inf} indicada en 43.1.2.

$$\lambda : 36.37$$

Donde:

l_o : Longitud de pandeo.

$$l_o : 3.150 \text{ m}$$

i_c : Radio de giro de la sección de hormigón.

$$i_c : 8.66 \text{ cm}$$

A_c : Área total de la sección de hormigón.

$$A_c : 900.00 \text{ cm}^2$$

I : Inercia.

$$I : 67500.00 \text{ cm}^4$$

$$\lambda_{inf} : 59.35$$

Donde:

e_2 : Excentricidad de primer orden correspondiente al mayor momento, considerada positiva.

$$e_2 : 139.72 \text{ mm}$$

e_1 : En estructuras traslacionales es igual a e_2 .

$$e_1 : 139.72 \text{ mm}$$

h : Canto de la sección en el plano de flexión considerado.

$$h : 300.00 \text{ mm}$$

C : Coeficiente que depende de la disposición de armaduras.

$$C : 0.24$$

v: Axil adimensional o reducido de cálculo que solicita el soporte.

$$v : \underline{0.13}$$

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

$$\mathbf{N_d} : \underline{227.67} \text{ kN}$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$\mathbf{f_{cd}} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

A_c: Área total de la sección de hormigón.

$$\mathbf{A_c} : \underline{900.00} \text{ cm}^2$$

En el eje y:

Los efectos de segundo orden pueden ser despreciados, ya que la esbeltez mecánica del soporte λ es menor que la esbeltez límite inferior λ_{inf} indicada en 43.1.2.

$$\lambda : \underline{36.37}$$

Donde:

l₀: Longitud de pandeo.

$$\mathbf{l_0} : \underline{3.150} \text{ m}$$

i_c: Radio de giro de la sección de hormigón.

$$\mathbf{i_c} : \underline{8.66} \text{ cm}$$

A_c: Área total de la sección de hormigón.

$$\mathbf{A_c} : \underline{900.00} \text{ cm}^2$$

I: Inercia.

$$\mathbf{I} : \underline{67500.00} \text{ cm}^4$$

$$\lambda_{inf} : \underline{81.63}$$

Donde:

e₂: Excentricidad de primer orden correspondiente al mayor momento, considerada positiva.

$$\mathbf{e_2} : \underline{38.57} \text{ mm}$$

e₁: En estructuras traslacionales es igual a e₂.

$$\mathbf{e_1} : \underline{38.57} \text{ mm}$$

h: Canto de la sección en el plano de flexión considerado.

$$\mathbf{h} : \underline{300.00} \text{ mm}$$

C: Coeficiente que depende de la disposición de armaduras.

$$\mathbf{C} : \underline{0.24}$$

v: Axil adimensional o reducido de cálculo que solicita el soporte.

$$v : \underline{0.13}$$

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

$$\mathbf{N_d} : \underline{227.67} \text{ kN}$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$\mathbf{f_{cd}} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

A_c: Área total de la sección de hormigón.

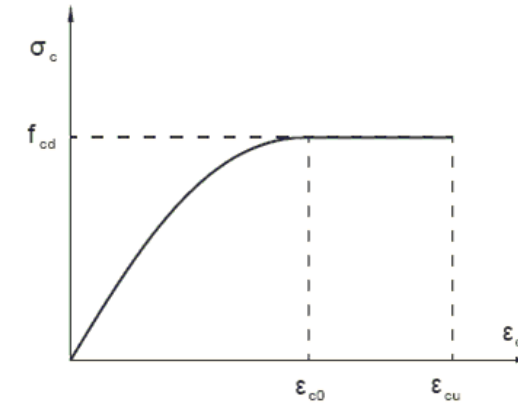
$$\mathbf{A_c} : \underline{900.00} \text{ cm}^2$$

Cálculo de la capacidad resistente

El cálculo de la capacidad resistente última de las secciones se efectúa a partir de las hipótesis generales siguientes (Artículo 42.1):

- El agotamiento se caracteriza por el valor de la deformación en determinadas fibras de la sección, definidas por los dominios de deformación de agotamiento.
- Las deformaciones del hormigón siguen una ley plana.
- Las deformaciones ϵ_s de las armaduras pasivas se mantienen iguales a las del hormigón que las envuelve.
- Diagramas de cálculo.

- El diagrama de cálculo tensión-deformación del hormigón es del tipo parábola rectángulo. No se considera la resistencia del hormigón a tracción.



f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$\mathbf{f_{cd}} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

ε_{cd}: Deformación de rotura del hormigón en compresión simple.

$$\mathbf{\epsilon_{cd}} : \underline{0.0020}$$

ε_{cu}: Deformación de rotura del hormigón en flexión.

$$\mathbf{\epsilon_{cu}} : \underline{0.0035}$$

Se considera como resistencia de cálculo del hormigón en compresión el valor:

α_{cc}: Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de compresión debido a cargas de larga duración.

$$\mathbf{\alpha_{cc}} : \underline{1.00}$$

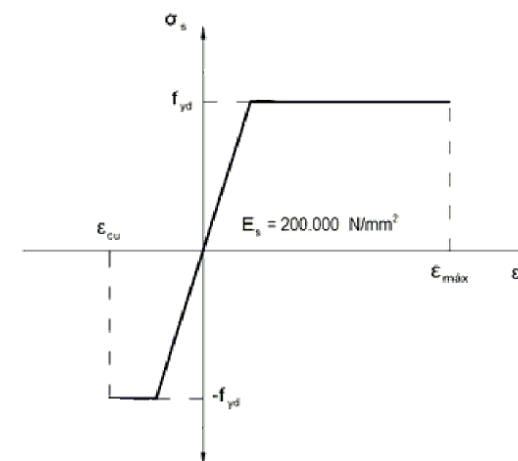
f_{ck}: Resistencia característica del hormigón.

$$\mathbf{f_{ck}} : \underline{30.00} \text{ MPa}$$

γ_c: Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.

$$\mathbf{\gamma_c} : \underline{1.5}$$

- Se adopta el siguiente diagrama de cálculo tensión-deformación del acero de las armaduras pasivas.



f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{434.78} \text{ MPa}$$

ε_{max}: Deformación máxima del acero en tracción.

$$\mathbf{\epsilon_{max}} : \underline{0.0100}$$

ε_{cu}: Deformación de rotura del hormigón en flexión.

$$\mathbf{\epsilon_{cu}} : \underline{0.0035}$$

Se considera como resistencia de cálculo del acero el valor:

f_{yk} : Resistencia característica de proyecto

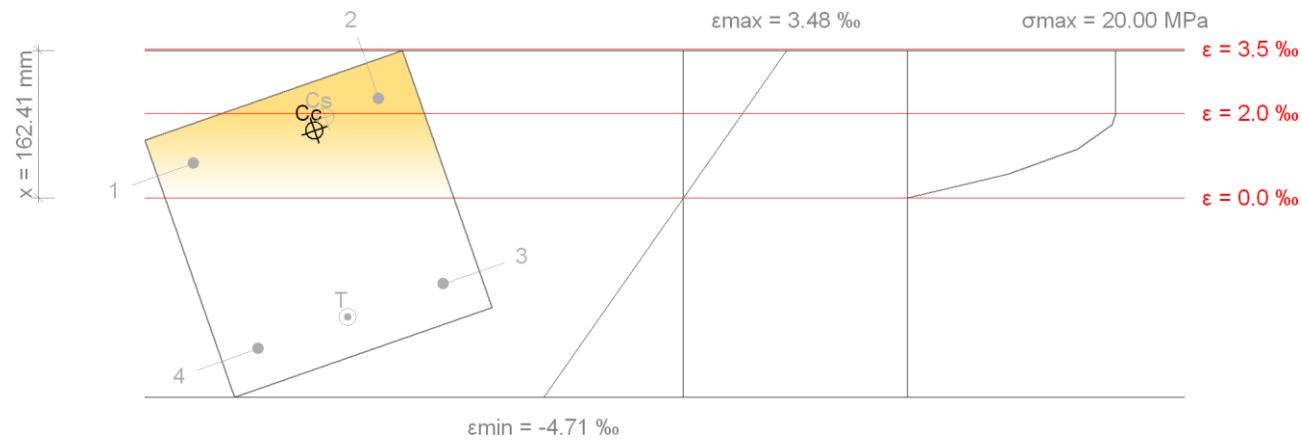
γ_s : Coeficiente parcial de seguridad.

f_{yk} : 500.00 MPa

γ_s : 1.15

(e) Se aplican a las resultantes de tensiones en la sección las ecuaciones generales de equilibrio de fuerzas y de momentos.

Equilibrio de la sección para los esfuerzos de agotamiento, calculados con las mismas excentricidades que los esfuerzos de cálculo pésimos:



Barra	Designación	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
1	Ø12	-108.00	108.00	+162.03	+0.000810
2	Ø12	108.00	108.00	+400.00	+0.002336
3	Ø12	108.00	-108.00	-407.56	-0.002038
4	Ø12	-108.00	-108.00	-434.78	-0.003563

	Resultante (kN)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	521.02	30.00	98.29
Cs	63.57	45.73	108.00
T	95.27	-3.49	-108.00

N_{Rd} : 489.31 kN

$M_{Rd,x}$: 68.37 kN·m

$M_{Rd,y}$: 18.87 kN·m

Donde:

C_c : Resultante de compresiones en el hormigón.

C_s : Resultante de compresiones en el acero.

T : Resultante de tracciones en el acero.

e_{cc} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.

e_{cs} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

e_T : Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

ϵ_{cmax} : Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.

ϵ_{smax} : Deformación de la barra de acero más traccionada.

σ_{cmax} : Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.

σ_{smax} : Tensión de la barra de acero más traccionada.

C_c : 521.02 kN

C_s : 63.57 kN

T : 95.27 kN

$e_{cc,x}$: 30.00 mm

$e_{cc,y}$: 98.29 mm

$e_{cs,x}$: 45.73 mm

$e_{cs,y}$: 108.00 mm

$e_{T,x}$: -3.49 mm

$e_{T,y}$: -108.00 mm

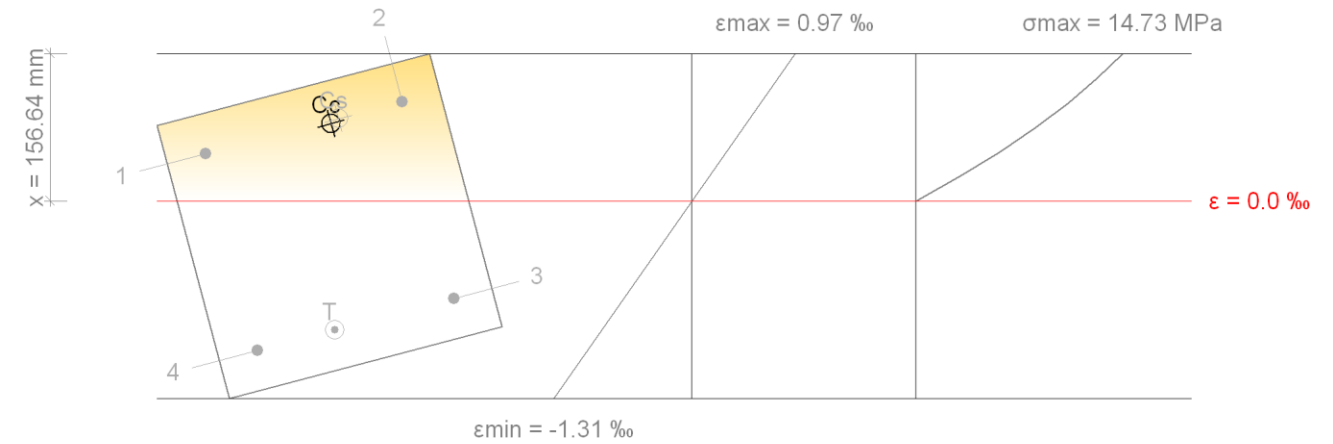
ϵ_{cmax} : 0.0035

ϵ_{smax} : 0.0036

σ_{cmax} : 20.00 MPa

σ_{smax} : 434.78 MPa

Equilibrio de la sección para los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos:



Barra	Designación	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
1	Ø12	-108.00	108.00	+62.22	+0.000311
2	Ø12	108.00	108.00	+130.83	+0.000654
3	Ø12	108.00	-108.00	-128.63	-0.000643
4	Ø12	-108.00	-108.00	-197.25	-0.000986

	Resultante (kN)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	242.69	29.27	104.95
Cs	21.83	38.39	108.00
T	36.86	-22.74	-108.00

N_{ed} : 227.67 kN

$M_{ed,x} : 31.81 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{ed,y} : 8.78 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

C_c : Resultante de compresiones en el hormigón.	$C_c : 242.69 \text{ kN}$
C_s : Resultante de compresiones en el acero.	$C_s : 21.83 \text{ kN}$
T : Resultante de tracciones en el acero.	$T : 36.86 \text{ kN}$
e_{cc} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.	$e_{cc,x} : 29.27 \text{ mm}$
	$e_{cc,y} : 104.95 \text{ mm}$
e_{cs} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.	$e_{cs,x} : 38.39 \text{ mm}$
	$e_{cs,y} : 108.00 \text{ mm}$
e_t : Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.	$e_{t,x} : -22.74 \text{ mm}$
	$e_{t,y} : -108.00 \text{ mm}$
ϵ_{cmax} : Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.	$\epsilon_{cmax} : 0.0010$
ϵ_{smax} : Deformación de la barra de acero más traccionada.	$\epsilon_{smax} : 0.0010$
σ_{cmax} : Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.	$\sigma_{cmax} : 14.73 \text{ MPa}$
σ_{smax} : Tensión de la barra de acero más traccionada.	$\sigma_{smax} : 197.25 \text{ MPa}$

Armadura longitudinal

La distancia libre d_l , horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a s_{min} (Artículo 69.4.1.1):

Donde:

s_{min} : Valor máximo de s_1, s_2, s_3 .

$186 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ ✓

$s_{min} : 25 \text{ mm}$

$s_1 : 20 \text{ mm}$

$s_2 : 25 \text{ mm}$

$s_3 : 20 \text{ mm}$

Siendo:

d_a : Tamaño máximo del árido.

ϕ_{max} : Diámetro de la barra comprimida más gruesa.

$d_a : 20 \text{ mm}$

$\phi_{max} : 20 \text{ mm}$

La separación entre dos barras consecutivas de la armadura principal debe ser de 350 mm como máximo (Artículo 54):

$204 \text{ mm} \leq 350 \text{ mm}$ ✓

El diámetro de la barra comprimida más delgada no será inferior a 12 mm (Artículo 54):

$16 \text{ mm} \geq 12 \text{ mm}$ ✓

Estribos

La distancia libre d_l , horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a s_{min} (Artículo 69.4.1.1):

Donde:

s_{min} : Valor máximo de s_1, s_2, s_3 .

$54 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ ✓

$s_{min} : 25 \text{ mm}$

$s_1 : 20 \text{ mm}$

$s_2 : 25 \text{ mm}$

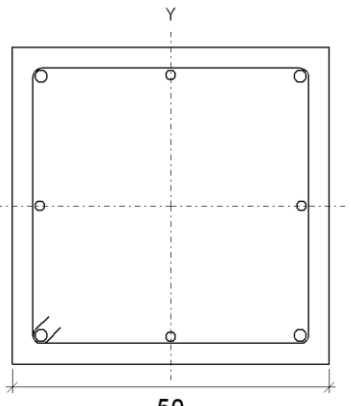
$s_3 : 6 \text{ mm}$

Siendo:

d_a : Tamaño máximo del árido.

$d_a : 20 \text{ mm}$

2.2.3.3. Agrupación 3

Datos del pilar P50		
	Geometría	
	Dimensiones	: 50x50 cm
	Tramo	: 3.500/7.000 m
	Altura libre	: 3.15 m
	Recubrimiento geométrico	: 3.0 cm
	Tamaño máximo de árido : 20 mm	
	Materiales	Longitud de pandeo
	Hormigón : HA-30, $Y_c=1.5$	Plano ZX : 3.15 m
	Acero : B 500 S, $Y_s=1.15$	Plano ZY : 3.15 m
	Armadura longitudinal	Estribos
	Esquina : 4Ø20	Perimetral : 1eØ6
	Cara X : 2Ø16	Separación : 6 - 20 - 10 cm
	Cara Y : 2Ø16	
	Cuantía : 0.82 %	

Disposiciones relativas a las armaduras (EHE-08, Artículos 42.3, 54 y 69.4.1.1)

Dimensiones mínimas

La dimensión mínima del soporte (b_{min}) debe cumplir la siguiente condición (Artículo 54):

$500.00 \text{ mm} \geq 250.00 \text{ mm}$ ✓

$\emptyset_{\max}$: Diámetro de la barra más gruesa de la armadura transversal.
Para poder tener en cuenta las armaduras pasivas en compresión, es necesario que vayan sujetas por cercos o estribos cuya separación s_t y diámetro $\emptyset_t$ cumplan (Artículo 42.3.1):

$$\emptyset_{\max} : \underline{6} \text{ mm}$$

$$60 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$$60 \text{ mm} \leq 500 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

$\emptyset_{\min}$: Diámetro de la barra comprimida más delgada.

$b_{\min}$: Dimensión mínima de la sección.

$$\emptyset_{\min} : \underline{16} \text{ mm}$$

$$b_{\min} : \underline{500.00} \text{ mm}$$

$$6 \text{ mm} \geq 5 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

$\emptyset_{\max}$: Diámetro de la barra comprimida más gruesa.

$$\emptyset_{\max} : \underline{20} \text{ mm}$$

Armadura mínima y máxima (EHE-08, Artículo 42.3)

Cuantía geométrica mínima de armadura principal (Artículo 42.3.5)

La cuantía geométrica de armadura principal ρ_l en pilares con barras de acero $f_{yk}=500.00$ MPa debe cumplir:

$$0.0082 \geq 0.0040 \quad \checkmark$$

Armadura longitudinal mínima para secciones en compresión simple o compuesta (Artículo 42.3.3)

En secciones sometidas a compresión simple o compuesta, las armaduras principales deben cumplir la siguiente limitación:

$$824.35 \text{ kN} \geq 32.65 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

A'_s : Área total de la armadura comprimida.

$f_{yc,d}$: Resistencia de cálculo del acero a compresión.

$$A'_s : \underline{20.61} \text{ cm}^2$$

$$f_{yc,d} : \underline{400.00} \text{ MPa}$$

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : \underline{326.54} \text{ kN}$$

Armadura longitudinal máxima para secciones en compresión simple o compuesta (Artículo 42.3.3)

En secciones sometidas a compresión simple o compuesta, las armaduras principales deben cumplir la siguiente limitación:

$$824.35 \text{ kN} \leq 5000.00 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

A'_s : Área total de la armadura comprimida.

$f_{yc,d}$: Resistencia de cálculo del acero a compresión.

$$A'_s : \underline{20.61} \text{ cm}^2$$

$$f_{yc,d} : \underline{400.00} \text{ MPa}$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

A_c : Área total de la sección de hormigón.

$$f_{cd} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

$$A_c : \underline{2500.00} \text{ cm}^2$$

Estado límite de agotamiento frente a cortante (EHE-08, Artículo 44)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.086} \quad \checkmark$$

Donde:

V_{rd1} : Esfuerzo cortante efectivo de cálculo.

$$V_{rd1,x} : \underline{55.54} \text{ kN}$$

$$V_{rd1,y} : \underline{83.23} \text{ kN}$$

V_{u1} : Esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

$$V_{u1} : \underline{1163.14} \text{ kN}$$

$$\eta : \underline{0.648} \quad \checkmark$$

Donde:

V_{rd2} : Esfuerzo cortante efectivo de cálculo.

$$V_{rd2,x} : \underline{55.54} \text{ kN}$$

$$V_{rd2,y} : \underline{83.23} \text{ kN}$$

V_{u2} : Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

$$V_{u2} : \underline{154.52} \text{ kN}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en 'Cabeza', para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(C).

Esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua en el alma.

El esfuerzo cortante de agotamiento por compresión oblicua del alma se deduce de la siguiente expresión:

Cortante en la dirección X:

$$V_{u1} : \underline{1163.14} \text{ kN}$$

Donde:

K : Coeficiente que depende del esfuerzo axil.

$$K : \underline{1.00}$$

σ'_{cd} : Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

$$\sigma'_{cd} : \underline{-0.24} \text{ MPa}$$

N_d : Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : \underline{300.47} \text{ kN}$$

A_c : Área total de la sección de hormigón.

$$A_c : \underline{2500.00} \text{ cm}^2$$

A'_s : Área total de la armadura comprimida.

$$A'_s : \underline{8.29} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{434.78} \text{ MPa}$$

f_{1cd} : Resistencia a compresión del hormigón

$$f_{1cd} : \underline{12.00} \text{ MPa}$$

f_{ck} : Resistencia característica del hormigón.

$$f_{ck} : \underline{30.00} \text{ MPa}$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \underline{20.00} \text{ MPa}$$

b_o : Anchura neta mínima del elemento.

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

d : Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

$$d : \underline{387.71} \text{ mm}$$

α : Ángulo de los estribos con el eje de la pieza.

θ : Ángulo entre la biela de compresión de hormigón y el eje de la pieza.

α : 90.0 grados

θ : 45.0 grados

ξ : Coeficiente que depende del canto útil 'd'.

ξ : 1.72

Cortante en la dirección Y:

V_{u1} : 1163.14 kN

Donde:

K: Coeficiente que depende del esfuerzo axil.

K: 1.00

σ'_{cd} : Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

σ'_{cd} : -0.24 MPa

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

N_d: 300.47 kN

A_c: Área total de la sección de hormigón.

A_c: 2500.00 cm²

A'_s: Área total de la armadura comprimida.

A'_s: 8.29 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd}: 434.78 MPa

f_{1cd}: Resistencia a compresión del hormigón

f_{1cd}: 12.00 MPa

f_{ck}: Resistencia característica del hormigón.

f_{ck}: 30.00 MPa

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

f_{cd}: 20.00 MPa

b₀: Anchura neta mínima del elemento.

b₀: 500.00 mm

d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

d: 387.71 mm

α : Ángulo de los estribos con el eje de la pieza.

α : 90.0 grados

θ : Ángulo entre la biela de compresión de hormigón y el eje de la pieza.

θ : 45.0 grados

f_{cv}: Resistencia efectiva del hormigón a cortante en N/mm².

f_{cv}: 30.00 MPa

f_{ck}: Resistencia característica del hormigón.

f_{ck}: 30.00 MPa

σ'_{cd} : Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

σ'_{cd} : 1.20 MPa

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

N_d: 300.47 kN

A_c: Área total de la sección de hormigón.

A_c: 2500.00 cm²

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

f_{cd}: 20.00 MPa

ρ_l : Cuantía geométrica de la armadura longitudinal principal de tracción.

ρ_l : 0.0064

A_s: Área de la armadura longitudinal principal de tracción.

A_s: 12.32 cm²

Cortante en la dirección Y:

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma en piezas sin armadura de cortante se obtiene como:

V_{u2} : 141.72 kN

con un valor mínimo de:

$V_{u2,min}$: 154.52 kN

Donde:

b₀: Anchura neta mínima del elemento.

b₀: 500.00 mm

d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

d: 387.71 mm

γ_c : Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.

γ_c : 1.5

ξ : Coeficiente que depende del canto útil 'd'.

ξ : 1.72

f_{cv}: Resistencia efectiva del hormigón a cortante en N/mm².

f_{cv}: 30.00 MPa

f_{ck}: Resistencia característica del hormigón.

f_{ck}: 30.00 MPa

σ'_{cd} : Tensión axil efectiva en el hormigón (compresión positiva), calculada teniendo en cuenta la compresión absorbida por las armaduras.

σ'_{cd} : 1.20 MPa

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

N_d: 300.47 kN

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en 'Cabeza', para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(C).

Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

Cortante en la dirección X:

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma en piezas sin armadura de cortante se obtiene como:

V_{u2} : 141.72 kN

con un valor mínimo de:

$V_{u2,min}$: 154.52 kN

Donde:

b₀: Anchura neta mínima del elemento.

b₀: 500.00 mm

d: Canto útil de la sección en mm referido a la armadura longitudinal de flexión.

d: 387.71 mm

γ_c : Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.

γ_c : 1.5

A_c: Área total de la sección de hormigón. **A_c** : 2500.00 cm²
f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón. **f_{cd}** : 20.00 MPa
ρ_l: Cuantía geométrica de la armadura longitudinal principal de tracción. **ρ_l** : 0.0064

A_s: Área de la armadura longitudinal principal de tracción. **A_s** : 12.32 cm²

Siendo:

e_e: Excentricidad de primer orden. Se calcula teniendo en cuenta la excentricidad mínima **e_{min}** según el artículo 42.2.1. **e_{e,x}** : -509.87 mm
e_{e,y} : 537.17 mm

En este caso, las excentricidades **e_{0,x}** y **e_{0,y}** son superiores a la mínima.

Donde:

En el eje x:

e_{min} : 25.00 mm

h: Canto de la sección en el plano de flexión considerado.

h : 500.00 mm

e₀ : -509.87 mm

Donde:

M_d: Momento de cálculo de primer orden. **M_d** : -153.20 kN·m

N_d: Esfuerzo normal de cálculo. **N_d** : 300.47 kN

En el eje y:

e_{min} : 25.00 mm

h: Canto de la sección en el plano de flexión considerado.

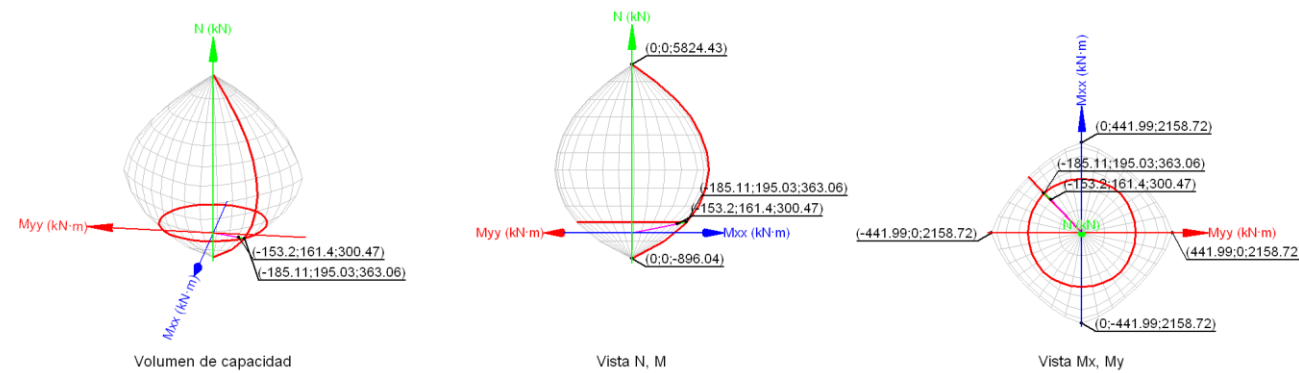
h : 500.00 mm

e₀ : 537.17 mm

Donde:

M_d: Momento de cálculo de primer orden. **M_d** : 161.40 kN·m

N_d: Esfuerzo normal de cálculo. **N_d** : 300.47 kN



Comprobación de resistencia de la sección (η_1)

N_{ed}, **M_{ed}** son los esfuerzos de cálculo de primer orden, incluyendo, en su caso, la excentricidad mínima según 42.2.1:

N_{ed}: Esfuerzo normal de cálculo.

M_{ed}: Momento de cálculo de primer orden.

N_{ed} : 300.47 kN

M_{ed,x} : 161.40 kN·m

M_{ed,y} : -153.20 kN·m

N_{Rd}, **M_{Rd}** son los esfuerzos que producen el agotamiento de la sección con las mismas excentricidades que los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos.

N_{Rd}: Axil de agotamiento.

M_{Rd}: Momentos de agotamiento.

N_{Rd} : 363.06 kN

M_{Rd,x} : 195.03 kN·m

M_{Rd,y} : -185.11 kN·m

Donde:

Comprobación del estado limite de inestabilidad

En el eje x:

Los efectos de segundo orden pueden ser despreciados, ya que la esbeltez mecánica del soporte λ es menor que la esbeltez límite inferior λ_{inf} indicada en 43.1.2.

λ : 21.82

Donde:

l₀: Longitud de pandeo.

l₀ : 3.150 m

i_c: Radio de giro de la sección de hormigón.

i_c : 14.43 cm

A_c: Área total de la sección de hormigón.

A_c : 2500.00 cm²

I: Inercia.

I : 520833.33 cm⁴

λ_{inf} : 73.25

Donde:

e₂: Excentricidad de primer orden correspondiente al mayor momento, considerada positiva.
e₁: En estructuras traslacionales es igual a e₂.
h: Canto de la sección en el plano de flexión considerado.
C: Coeficiente que depende de la disposición de armaduras.
v: Axil adimensional o reducido de cálculo que solicita el soporte.

$$\begin{aligned} e_2 &: \frac{537.17}{\text{mm}} \\ e_1 &: \frac{537.17}{\text{mm}} \\ h &: \frac{500.00}{\text{mm}} \\ C &: \frac{0.22}{} \\ v &: \frac{0.06}{} \end{aligned}$$

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : \frac{300.47}{\text{kN}}$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \frac{20.00}{\text{MPa}}$$

A_c: Área total de la sección de hormigón.

$$A_c : \frac{2500.00}{\text{cm}^2}$$

En el eje y:

Los efectos de segundo orden pueden ser despreciados, ya que la esbeltez mecánica del soporte λ es menor que la esbeltez límite inferior λ_{inf} indicada en 43.1.2.

$$\lambda : \frac{21.82}{} \quad \lambda_{inf} : \frac{73.61}{} \quad \lambda_{inf} > \lambda$$

Donde:

l₀: Longitud de pandeo.
i_c: Radio de giro de la sección de hormigón.
A_c: Área total de la sección de hormigón.
I: Inercia.

$$\begin{aligned} l_0 &: \frac{3.150}{\text{m}} \\ i_c &: \frac{14.43}{\text{cm}} \\ A_c &: \frac{2500.00}{\text{cm}^2} \\ I &: \frac{520833.33}{\text{cm}^4} \end{aligned}$$

$$\lambda_{inf} : \frac{73.61}{} \quad \lambda_{inf} > \lambda$$

Donde:

e₂: Excentricidad de primer orden correspondiente al mayor momento, considerada positiva.
e₁: En estructuras traslacionales es igual a e₂.
h: Canto de la sección en el plano de flexión considerado.
C: Coeficiente que depende de la disposición de armaduras.
v: Axil adimensional o reducido de cálculo que solicita el soporte.

$$\begin{aligned} e_2 &: \frac{-509.87}{\text{mm}} \\ e_1 &: \frac{-509.87}{\text{mm}} \\ h &: \frac{500.00}{\text{mm}} \\ C &: \frac{0.22}{} \\ v &: \frac{0.06}{} \end{aligned}$$

N_d: Esfuerzo normal de cálculo.

$$N_d : \frac{300.47}{\text{kN}}$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \frac{20.00}{\text{MPa}}$$

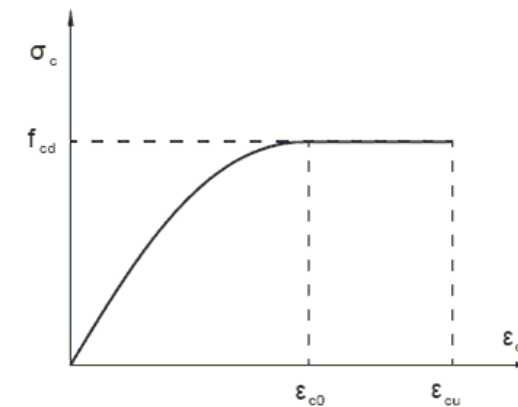
A_c: Área total de la sección de hormigón.

$$A_c : \frac{2500.00}{\text{cm}^2}$$

Cálculo de la capacidad resistente

El cálculo de la capacidad resistente última de las secciones se efectúa a partir de las hipótesis generales siguientes (Artículo 42.1):

- El agotamiento se caracteriza por el valor de la deformación en determinadas fibras de la sección, definidas por los dominios de deformación de agotamiento.
- Las deformaciones del hormigón siguen una ley plana.
- Las deformaciones ϵ_s de las armaduras pasivas se mantienen iguales a las del hormigón que las envuelve.
- Diagramas de cálculo.
 - El diagrama de cálculo tensión-deformación del hormigón es del tipo parábola rectángulo. No se considera la resistencia del hormigón a tracción.



f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \frac{20.00}{\text{MPa}}$$

ε_{cd}: Deformación de rotura del hormigón en compresión simple.

$$\epsilon_{cd} : \frac{0.0020}{} \quad \epsilon_{cu} : \frac{0.0035}{} \quad \epsilon_{cu} > \epsilon_{cd}$$

ε_{cu}: Deformación de rotura del hormigón en flexión.

Se considera como resistencia de cálculo del hormigón en compresión el valor:

α_{cc}: Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de compresión debido a cargas de larga duración.

$$\alpha_{cc} : \frac{1.00}{} \quad \alpha_{cc} > 1$$

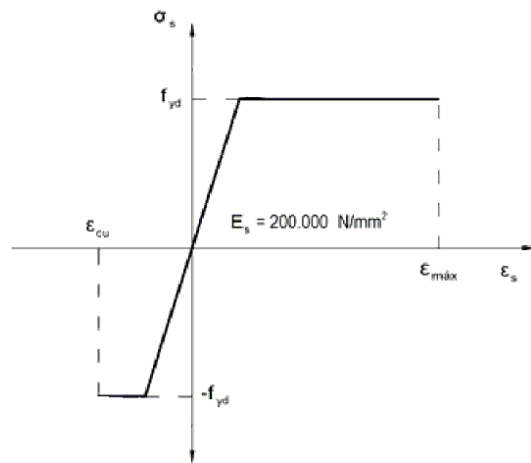
f_{ck}: Resistencia característica del hormigón.

$$f_{ck} : \frac{30.00}{\text{MPa}}$$

γ_c: Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.

$$\gamma_c : \frac{1.5}{} \quad \gamma_c > 1$$

- Se adopta el siguiente diagrama de cálculo tensión-deformación del acero de las armaduras pasivas.



f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

ϵ_{max} : Deformación máxima del acero en tracción.

ϵ_{cu} : Deformación de rotura del hormigón en flexión.

Se considera como resistencia de cálculo del acero el valor:

$f_{yd} : 434.78 \text{ MPa}$

$\epsilon_{max} : 0.0100$

$\epsilon_{cu} : 0.0035$

f_{yk} : Resistencia característica de proyecto

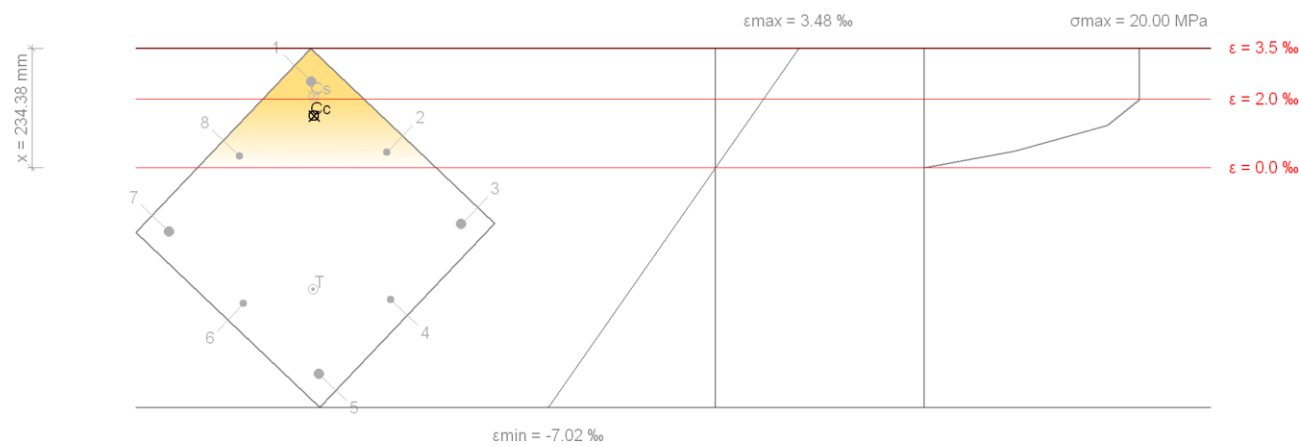
γ_s : Coeficiente parcial de seguridad.

$f_{yk} : 500.00 \text{ MPa}$

$\gamma_s : 1.15$

(e) Se aplican a las resultantes de tensiones en la sección las ecuaciones generales de equilibrio de fuerzas y de momentos.

Equilibrio de la sección para los esfuerzos de agotamiento, calculados con las mismas excentricidades que los esfuerzos de cálculo pésimos:



Barra	Designación	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
1	Ø20	-204.00	204.00	+400.00	+0.002516
2	Ø16	0.00	206.00	+89.79	+0.000449
3	Ø20	204.00	204.00	-332.27	-0.001661

Barra	Designación	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
4	Ø16	206.00	0.00	-434.78	-0.003878
5	Ø20	204.00	-204.00	-434.78	-0.006054
6	Ø16	0.00	-206.00	-434.78	-0.003987
7	Ø20	-204.00	-204.00	-375.32	-0.001877
8	Ø16	-206.00	0.00	+68.06	+0.000340

	Resultante (kN)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	739.38	-153.57	158.30
Cs	157.40	-180.78	186.49
T	533.72	80.78	-91.12

$N_{Rd} : 363.06 \text{ kN}$

$M_{Rd,x} : 195.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{Rd,y} : -185.11 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

C_c : Resultante de compresiones en el hormigón.

C_s : Resultante de compresiones en el acero.

T : Resultante de tracciones en el acero.

e_{cc} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.

e_{cs} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

e_t : Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

ϵ_{cmax} : Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.

ϵ_{smax} : Deformación de la barra de acero más traccionada.

σ_{cmax} : Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.

σ_{smax} : Tensión de la barra de acero más traccionada.

$C_c : 739.38 \text{ kN}$

$C_s : 157.40 \text{ kN}$

$T : 533.72 \text{ kN}$

$e_{cc,x} : -153.57 \text{ mm}$

$e_{cc,y} : 158.30 \text{ mm}$

$e_{cs,x} : -180.78 \text{ mm}$

$e_{cs,y} : 186.49 \text{ mm}$

$e_{t,x} : 80.78 \text{ mm}$

$e_{t,y} : -91.12 \text{ mm}$

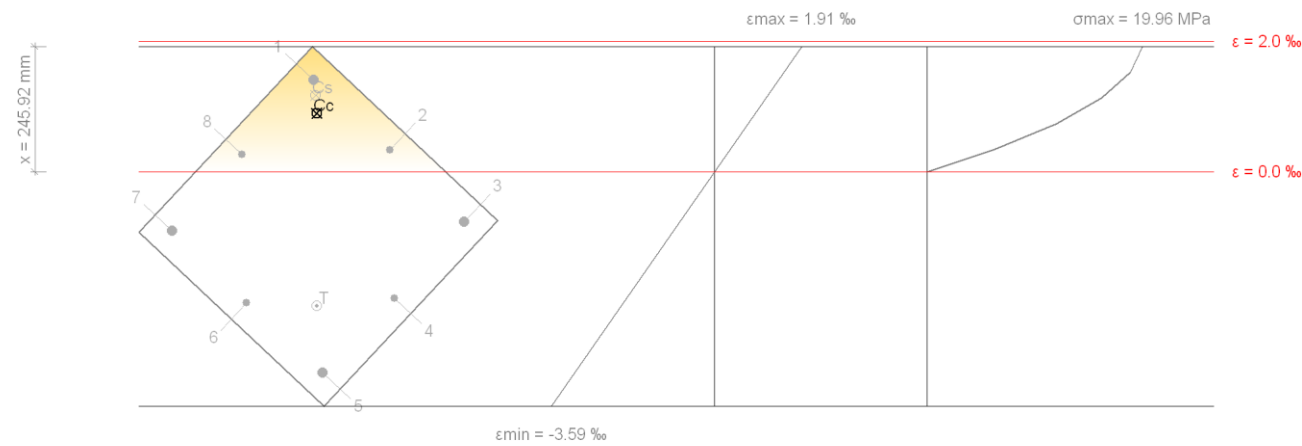
$\epsilon_{cmax} : 0.0035$

$\epsilon_{smax} : 0.0061$

$\sigma_{cmax} : 20.00 \text{ MPa}$

$\sigma_{smax} : 434.78 \text{ MPa}$

Equilibrio de la sección para los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos:



Barra	Designación	Coord. X (mm)	Coord. Y (mm)	σ_s (MPa)	ϵ
1	Ø20	-204.00	204.00	+281.60	+0.001408
2	Ø16	0.00	206.00	+66.47	+0.000332
3	Ø20	204.00	204.00	-153.20	-0.000766
4	Ø16	206.00	0.00	-386.81	-0.001934
5	Ø20	204.00	-204.00	-434.78	-0.003081
6	Ø16	0.00	-206.00	-401.03	-0.002005
7	Ø20	-204.00	-204.00	-181.36	-0.000907
8	Ø16	-206.00	0.00	+52.25	+0.000261

	Resultante (kN)	e.x (mm)	e.y (mm)
Cc	588.24	-154.54	160.35
Cs	112.34	-179.92	185.16
T	400.10	105.18	-115.67

$N_{ed} : 300.47 \text{ kN}$

$M_{ed,x} : 161.40 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{ed,y} : -153.20 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Donde:

C_c : Resultante de compresiones en el hormigón.

C_s : Resultante de compresiones en el acero.

T : Resultante de tracciones en el acero.

$C_c : 588.24 \text{ kN}$

$C_s : 112.34 \text{ kN}$

$T : 400.10 \text{ kN}$

$e_{cc,x} : -154.54 \text{ mm}$

e_{cc} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el hormigón en la dirección de los ejes X e Y.

e_{cs} : Excentricidad de la resultante de compresiones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

e_t : Excentricidad de la resultante de tracciones en el acero en la dirección de los ejes X e Y.

ϵ_{cmax} : Deformación de la fibra más comprimida de hormigón.

ϵ_{smax} : Deformación de la barra de acero más traccionada.

σ_{cmax} : Tensión de la fibra más comprimida de hormigón.

σ_{smax} : Tensión de la barra de acero más traccionada.

$e_{cc,y} : 160.35 \text{ mm}$

$e_{cs,x} : -179.92 \text{ mm}$

$e_{cs,y} : 185.16 \text{ mm}$

$e_{t,x} : 105.18 \text{ mm}$

$e_{t,y} : -115.67 \text{ mm}$

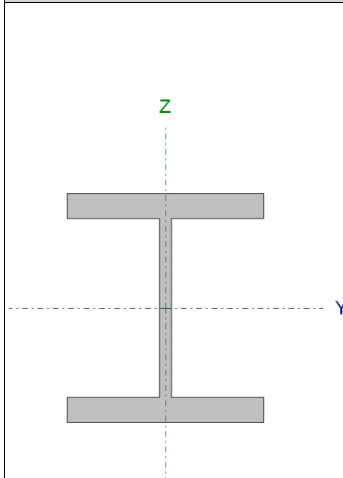
$\epsilon_{cmax} : 0.0019$

$\epsilon_{smax} : 0.0031$

$\sigma_{cmax} : 19.96 \text{ MPa}$

$\sigma_{smax} : 434.78 \text{ MPa}$

2.2.3.4. Agrupación 4

Pilar P47 – x=4,5 m							
Perfil: HE 320 M							
Material: Acero (S275 (EAE))							
	Cotas del tramo (m)		Altura libre (m)	Características mecánicas			
	Pie	Cabeza		Área (cm²)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _z ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)
	3.50	4.50	1.000	312.00	68130.00	19710.00	1501.00
	Notas:						
	⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado						
	⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo			Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	1.00	1.00	1.00	1.00		
	L _K	1.000	1.000	1.000	1.000		
C _m	0.850	0.850	1.000	1.000			
C ₁	-			1.000			
Notación:							
β: Coeficiente de pandeo							
L _K : Longitud de pandeo (m)							
C _m : Coeficiente de momentos							
C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

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

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

$\bar{\lambda} : 0.14$ ✓

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.

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

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

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

Clase : 1

A : 312.00 cm²

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : 408512.80 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. $N_{cr,Y} : 1412073.91$ kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,Z} : 408512.80$ kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T} : 411566.68$ kN

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	$I_y : 68130.00$ cm ⁴
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	$I_z : 19710.00$ cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	$I_t : 1501.00$ cm ⁴
I_w : Constante de alabeo de la sección.	$I_w : 5004000.00$ cm ⁶
E : Módulo de elasticidad.	$E : 210000$ MPa
G : Módulo de elasticidad transversal.	$G : 81000$ MPa
L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	$L_{ky} : 1.000$ m
L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	$L_{kz} : 1.000$ m
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	$L_{kt} : 1.000$ m
i_o : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	$i_o : 16.78$ cm

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	$i_y : 14.78$ cm
	$i_z : 7.95$ cm
y_o, z_o : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	$y_o : 0.00$ mm
	$z_o : 0.00$ mm

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

Se debe satisfacer:

$$13.29 \leq 157.73 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	$h_w : 279.00$ mm
t_w : Espesor del alma.	$t_w : 21.00$ mm
A_w : Área del alma.	$A_w : 58.59$ cm ²
$A_{f,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{f,ef} : 123.60$ cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	$k : 0.30$

E : Módulo de elasticidad.

f_y : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$E : 210000$ MPa

$f_y : 275.00$ MPa

Resistencia a tracción (EAE 2011, Artículo 34.2)

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

Resistencia a compresión (EAE 2011, Artículo 34.3)

Se debe satisfacer:

$\eta : 0.053 \quad \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 3.50, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

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

$N_{c,Ed} : 429.63$ kN

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

$N_{c,Rd} : 8171.43$ kN

Donde:

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

Clase : 1

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

A : 312.00 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90$ MPa

Siendo:

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

$f_y : 275.00$ MPa

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

$\gamma_{mo} : 1.05$

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.1)

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

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

$\bar{\lambda} : 0.14$

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

$N_{c,Ed} / N_{cr} : 0.001$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.**f_y:** Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27)**N_{cr}:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:**N_{cr,y}:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.**N_{cr,z}:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.**N_{cr,T}:** Axil crítico elástico de pandeo por torsión.**A :** 312.00 cm²**f_y :** 275.00 MPa**N_{cr} :** 408512.80 kN**N_{cr,y} :** 1412073.91 kN**N_{cr,z} :** 408512.80 kN**N_{cr,T} :** 411566.68 kN

e:

W_{pl,y}: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.**f_y:** Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27)

Momento crítico elástico de pandeo lateral.

to crítico elástico de pandeo lateral 'M_{cr}' se determina de la siguiente forma:**M_{Ed}⁻ / M_{cr}⁻ :** 0.000**W_{pl,y} :** 4435.00 cm³**f_y :** 275.00 MPa**M_{cr} :** 68800.53 kN·m**Resistencia a flexión eje Y** (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

η : 0.310 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 4.50, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

M_{Ed}⁺: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.**M_{Ed}⁺ :** 360.39 kN·m

Para flexión negativa:

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.**M_{Ed}⁻ :** 0.00 kN·mEl momento flector resistente de cálculo **M_{c,Rd}** viene dado por:**M_{c,Rd} :** 1161.55 kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.**Clase :** 1**W_{pl,y}:** Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.**W_{pl,y} :** 4435.00 cm³**f_{yd}:** Resistencia de cálculo del acero.**f_{yd} :** 261.90 MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27)**f_y :** 275.00 MPa**γ_{Mo}:** Coeficiente parcial de seguridad del material.**γ_{Mo} :** 1.05**Resistencia a pandeo lateral:** (EAE 2011, Artículo 35.2)Si la esbeltez $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ o la relación $M_{Ed} / M_{cr} \leq 0.16$ se puede ignorar el efecto del pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal. $\bar{\lambda}_{LT} :$ 0.13**M_{Ed} / M_{cr}:** Relación de momentos.**M_{Ed}⁺ / M_{cr}⁺ :** 0.005

o:

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.**I_z :** 19710.00 cm⁴**I_t:** Momento de inercia a torsión uniforme.**I_t :** 1501.00 cm⁴**I_w:** Constante de alabeo de la sección.**I_w :** 5004000.00 cm⁶**E:** Módulo de elasticidad.**E :** 210000 MPa**G:** Módulo de elasticidad transversal.**G :** 81000 MPa**L_c⁺:** Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.**L_c⁺ :** 1.000 m**L_c⁻:** Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.**L_c⁻ :** 1.000 m**C₁:** Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.**C₁ :** 1.00**C₂:** Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.**C₂ :** 1.00**C₃:** Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.**C₃ :** 1.00**k_z:** Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al giro de la sección transversal en los extremos de la barra.**k_z :** 1.00**k_w:** Coeficiente de longitud eficaz, que depende de las restricciones al alabeo en los extremos de la barra.**k_w :** 1.00**z_g:** Distancia entre el punto de aplicación de la carga y el centro de esfuerzos cortantes, respecto al eje Z.**z_g :** 0.00 mm

Siendo:

z_a: Distancia en la dirección del eje Z entre el punto de aplicación de la carga y el centro geométrico.**z_a :** 0.00 mm**z_s:** Distancia en la dirección del eje Z entre el centro de esfuerzos cortantes y el centro geométrico.**z_s :** 0.00 mm**z_j:** Parámetro de asimetría de la sección, respecto al eje Y.**z_j :** 0.00 mm**Resistencia a flexión eje Z** (EAE 2011, Artículo 34.4)

Se debe satisfacer:

η < 0.001 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 3.50, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(C).

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

$$M_{Ed}^+ : 0.24 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

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

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

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

$$M_{c,Rd} : 510.98 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$\text{Clase} : 1$$

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

$$W_{pl,z} : 1951.00 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

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

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

$$13.29 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : 13.29$$

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{máx} : 55.46$$

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

$$\eta : 1.20$$

ϵ : Factor de reducción.

$$\epsilon : 0.92$$

Resistencia a corte Z (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.175 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

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

$$V_{Ed} : 199.52 \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : 1139.98 \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : 75.39 \text{ cm}^2$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

$$h : 359.00 \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : 21.00 \text{ mm}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

Resistencia a corte Y (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta < 0.001 \quad \checkmark$$

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

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

$$V_{Ed} : 0.14 \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : 3831.83 \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : 253.41 \text{ cm}^2$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

d: Altura del alma.

t_w: Espesor del alma.

A : 312.00 cm²

d : 279.00 mm

t_w : 21.00 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

Siendo:

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

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

f_y : 275.00 MPa

γ_{Mo} : 1.05

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

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

$$199.52 \text{ kN} \leq 569.99 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

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

V_{Ed} : 199.52 kN

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

V_{c,Rd} : 1139.98 kN

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

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

$$0.14 \text{ kN} \leq 1915.92 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(C).

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

V_{Ed} : 0.14 kN

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

V_{c,Rd} : 3831.83 kN

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.096} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.312} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.190} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo 4.50, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

Donde:

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

N_{c,Ed} : 426.39 kN

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

M_{y,Ed}⁺ : 360.39 kN·m

M_{z,Ed}⁺ : 0.09 kN·m

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

Clase : 1

M_{N,Rd,y}, M_{N,Rd,z}: Momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{N,Rd,y} : 1161.55 kN·m

M_{N,Rd,z} : 510.98 kN·m

$$\alpha : \underline{2.000}$$

$$\beta : \underline{1.000}$$

Siendo:

$$n : \underline{0.052}$$

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

N_{pl,Rd} : 8171.43 kN

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

M_{pl,Rd,y} : 1161.55 kN·m

M_{pl,Rd,z} : 510.98 kN·m

$$a : \underline{0.21}$$

A: Área de la sección bruta.

A : 312.00 cm²

b: Ancho del ala.

b : 30.90 cm

t_f: Espesor del ala.

t_f : 40.00 mm

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.3)

A: Área de la sección bruta.

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

A : 312.00 cm²
 $W_{pl,y}$: 4435.00 cm³
 $W_{pl,z}$: 1951.00 cm³
 f_{yd} : 261.90 MPa

Siendo:

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

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

f_y : 275.00 MPa
 γ_{M1} : 1.05

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

K_{yy} : 0.84

K_{yz} : 0.55

K_{zy} : 0.44

K_{zz} : 0.83

Términos auxiliares:

μ_y : 1.00

μ_z : 1.00

C_{yy} : 1.02

C_{yz} : 1.05

C_{zy} : 1.02

C_{zz} : 1.03

Puesto que:

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

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

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

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

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

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

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

a_{LT} : 0.98

b_{LT} : 0.00

c_{LT} : 0.01

d_{LT} : 0.00

e_{LT} : 0.80

w_y : 1.17

w_z : 1.50

n_{pl} : 0.05

0.13 ≤ 0.20

$C_{m,y}$: 0.85

$C_{m,z}$: 0.85

$C_{m,LT}$: 1.00

$C_{m,y,0}$: 0.85

$C_{m,z,0}$: 0.85

C_1 : 1.00

χ_y : 1.00

χ_z : 1.00

χ_{LT} : 1.00

$\bar{\lambda}_{máx}$: 0.14

$\bar{\lambda}_y$: 0.08

$\bar{\lambda}_z$: 0.14

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.13

$\bar{\lambda}_0$: 0.13

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

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

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

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

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

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

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$W_{el,y} : \underline{3795.54} \text{ cm}^3$$

$$W_{el,z} : \underline{1275.73} \text{ cm}^3$$

$$N_{cr,y} : \underline{1412073.91} \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} : \underline{408512.80} \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} : \underline{411566.68} \text{ kN}$$

$$I_y : \underline{68130.00} \text{ cm}^4$$

$$I_t : \underline{1501.00} \text{ cm}^4$$

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

$$199.52 \text{ kN} \leq 569.33 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

$$V_{Ed,z} : \underline{199.52} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{1138.66} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.05·Qa(A)+1.5·Qa(C).

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} : \underline{56.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{375.25} \text{ cm}^3$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.175} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

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

$$V_{Ed} : \underline{199.52} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{1138.66} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{1139.98} \text{ kN}$$

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.44} \text{ MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{375.25} \text{ cm}^3$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

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

$$V_{Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{3827.40} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

$V_{pl,Rd}$: $\frac{3831.83}{kN}$

$\tau_{T,Ed}$: $\frac{0.44}{MPa}$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

W_T : $\frac{375.25}{cm^3}$

f_{yd} : $\frac{261.90}{MPa}$

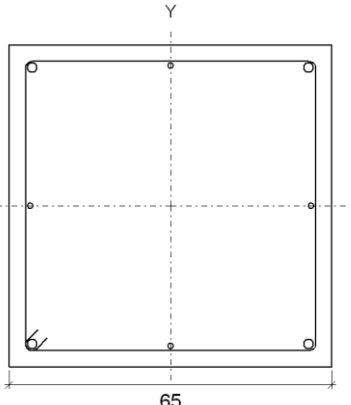
Siendo:

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

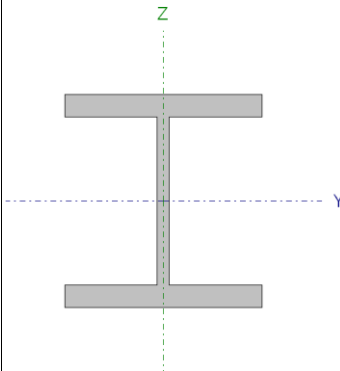
γ_{mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : $\frac{275.00}{MPa}$

γ_{mo} : $\frac{1.05}{}$

Datos del pilar P47 – x=3,5m	
	Geometría
	Dimensiones : 65x65 cm
	Tramo : 0.000/3.500 m
	Altura libre : 3.22 m
	Recubrimiento geométrico : 3.0 cm
	Tamaño máximo de árido : 20 mm
	Materiales
	Hormigón : HA-30, $Y_c=1.5$
	Acero : B 500 S, $Y_s=1.15$
	Longitud de pandeo
	Plano ZX : 3.22 m
	Plano ZY : 3.22 m
	Armadura longitudinal
	Esquina : 4Ø20
	Cara X : 2Ø12
	Cara Y : 2Ø12
	Cuantía : 0.40 %
	Estribos
	Perimetral : 1eØ6
	Separación : 6 - 15 - 10 cm

2.2.3.5. Agrupación 5

Pilar P53 – x=0,7 m							
Perfil: HE 280 M							
Material: Acero (S275 (EAE))							
	Cotas del tramo (m)		Altura libre (m)	Características mecánicas			
	Pie	Cabeza		Área (cm²)	I _y ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm⁴)
	0.00	0.70	0.700	240.20	39550.00	13160.00	807.30
	Notas:						
	(1) Inercia respecto al eje indicado						
	(2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	1.00	1.00	1.00	1.00		
	L _k	0.700	0.700	0.700	0.700		
C _m	0.850	0.850	1.000	1.000			
C ₁	-		1.000				
Notación:							
β: Coeficiente de pandeo							
L _k : Longitud de pandeo (m)							
C _m : Coeficiente de momentos							
C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

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

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

$\bar{\lambda}$: **0.11** ✓

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.

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

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

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

Clase : 1

A : 240.20 cm²

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : 515538.46 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. **$N_{cr,y}$:** 1672897.95 kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$:** 556645.69 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$:** 515538.46 kN

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y : <u>39550.00</u> cm ⁴
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : <u>13160.00</u> cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>807.30</u> cm ⁴
I_w : Constante de alabeo de la sección.	I_w : <u>2520000.00</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>0.700</u> m
L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} : <u>0.700</u> m
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} : <u>0.700</u> m
i_o : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_o : <u>14.81</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>12.83</u> cm
	i_z : <u>7.40</u> cm
y_o , z_o : 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_o : <u>0.00</u> mm
	z_o : <u>0.00</u> mm

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

Se debe satisfacer:

$$13.19 \leq 157.88 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>244.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>18.50</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>45.14</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>95.04</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 (EAE 2011, Artículo 34.2)

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

Resistencia a compresión (EAE 2011, Artículo 34.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.051} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.00, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A).

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

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{319.57} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{6290.95} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$\mathbf{A} : \underline{240.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\mathbf{\gamma_{mo}} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.1)

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

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

$$\bar{\lambda} : \underline{0.11}$$

N_{c,Ed}/N_{cr}: Relación de axiles.

$$\mathbf{N_{c,Ed}/N_{cr}} : \underline{0.001}$$

Donde:

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

$$\mathbf{A} : \underline{240.20} \text{ cm}^2$$

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

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

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

$$\mathbf{N_{cr}} : \underline{515538.46} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{N_{cr,y}} : \underline{1672897.95} \text{ kN}$$

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

$N_{cr,z}$ 556645.69 N
 $N_{cr,T}$ 515538.46 N

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

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

Se debe satisfacer:

η 0.281 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.70, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

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

M_{Ed}^+ 218.11 N·m

Para flexión negativa:

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

M_{Ed}^- 0.00 N·m

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

$M_{c,Rd}$ 776.81 N·m

Donde:

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

Clase 1

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

$W_{pl,y}$ 2966.00 m³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} 261.90 IPa

Siendo:

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

f_y 275.00 IPa

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

γ_{MO} 1.05

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

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

$\bar{\lambda}_{LT}$ 0.10

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

M_{Ed}^+ / M_{cr}^+ 0.003

M_{Ed}^- / M_{cr}^- 0.000

Donde:

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

$W_{pl,y}$ 2966.00 m³

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

f_y 275.00 IPa

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

M_{cr} 79356.04 N·m

Siendo:

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

I_z 13160.00 m⁴

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t 807.30 m⁴

I_w : Constante de alabeo de la sección.

I_w 1520000.00 m⁶

E : Módulo de elasticidad.

E 210000 IPa

G : Módulo de elasticidad transversal.

G 81000 IPa

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

L_c^+ 0.700 m

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

L_c^- 0.700 m

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

C_1 1.00

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

C_2 1.00

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

C_3 1.00

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

k_z 1.00

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

k_w 1.00

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

z_g 0.00 m

Siendo:

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

z_a 0.00 m

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

z_s 0.00 m

z_j : Parámetro de asimetría de la sección, respecto al eje Y.

z_j 0.00 m

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

Se debe satisfacer:

η 0.001 ✓

Para flexión positiva:

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

M_{Ed}^+ 0.00 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.00, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

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

M_{Ed}^- 0.25 ·m

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

$$M_{c,Rd} : \underline{365.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$W_{pl,z} : \underline{1397.00} \text{ cm}^3$$

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

Siendo:

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

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

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

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

Resistencia a corte Z (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.192} \checkmark$$

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

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

$$V_{Ed} : \underline{166.38} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{867.19} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{57.35} \text{ cm}^2$$

Siendo:

h : Canto de la sección.

t_w : Espesor del alma.

$$h : \underline{310.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{18.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$13.19 < 55.46 \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{13.19}$$

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{máx} : \underline{55.46}$$

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

$$\eta : \underline{1.20}$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

Resistencia a corte Y (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

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

$$V_{Ed} : \underline{0.26} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{2949.52} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{195.06} \text{ cm}^2$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

d : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

$$A : \underline{240.20} \text{ cm}^2$$

$$d : \underline{244.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{18.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

$$\eta : \underline{0.174} \quad \checkmark$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27)
 γ_{m0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

$$\gamma_{m0} : \underline{1.05}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo 0.70, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{311.40} \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{218.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$M_{N,Rd,y}, M_{N,Rd,z}$: Momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{776.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{365.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\alpha : \underline{2.000}$$

$$\beta : \underline{1.000}$$

Siendo:

$$n : \underline{0.050}$$

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

$$N_{pl,Rd} : \underline{6290.95} \text{ kN}$$

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

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{776.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{365.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a : \underline{0.21}$$

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{240.20} \text{ cm}^2$$

b: Ancho del ala.

$$b : \underline{28.80} \text{ cm}$$

t_f: Espesor del ala.

$$t_f : \underline{33.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.3)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{240.20} \text{ cm}^2$$

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

$$W_{pl,y} : \underline{2966.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{1397.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

γ_{m1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{m1} : \underline{1.05}$$

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

$$K_{yy} : \underline{0.84}$$

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

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

$$166.38 \text{ kN} \leq 433.60 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A).

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

$$V_{Ed} : \underline{166.38} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{867.19} \text{ kN}$$

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

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

$$0.26 \text{ kN} \leq 1474.76 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa(A)+1.05·Qa(C).

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

$$V_{Ed} : \underline{0.26} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{2949.52} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.079} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.285} \quad \checkmark$$

Términos auxiliares:

$$K_{yz} : \underline{0.55}$$

$$K_{zy} : \underline{0.44}$$

$$K_{zz} : \underline{0.82}$$

$$\mu_y : \underline{1.00}$$

$$\mu_z : \underline{1.00}$$

$$C_{yy} : \underline{1.02}$$

$$C_{yz} : \underline{1.05}$$

$$C_{zy} : \underline{1.02}$$

$$C_{zz} : \underline{1.03}$$

$$a_{LT} : \underline{0.98}$$

$$b_{LT} : \underline{0.00}$$

$$c_{LT} : \underline{0.01}$$

$$d_{LT} : \underline{0.00}$$

Puesto que:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$e_{LT} : \underline{0.56}$$

$$w_y : \underline{1.16}$$

$$w_z : \underline{1.50}$$

$$n_{pl} : \underline{0.05}$$

$$0.10 \leq 0.20$$

$$C_{m,y} : \underline{0.85}$$

$$C_{m,z} : \underline{0.85}$$

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

$$C_{m,y,0} : \underline{0.85}$$

$$C_{m,z,0} : \underline{0.85}$$

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$$\chi_y : \underline{1.00}$$

$$\chi_z : \underline{1.00}$$

$$\chi_{LT} : \underline{1.00}$$

$$\bar{\lambda}_{máx} : \underline{0.11}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.06}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.11}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.10}$$

$$\bar{\lambda}_0 : \underline{0.10}$$

$$W_{el,y} : \underline{2551.61} \text{ cm}^3$$

$$W_{el,z} : \underline{913.89} \text{ cm}^3$$

$$N_{cr,y} : \underline{1672897.95} \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} : \underline{556645.69} \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} : \underline{515538.46} \text{ kN}$$

$$I_y : \underline{39550.00} \text{ cm}^4$$

$$I_t : \underline{807.30} \text{ cm}^4$$

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(A) + 1.05 \cdot Qa(C)$.

Donde:

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

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

$$152.07 \text{ kN} \leq 432.94 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$V_{Ed,z} : \frac{152.07}{\text{ kN}}$$

$$V_{c,Rd,z} : \frac{865.88}{\text{ kN}}$$

Resistencia a torsión (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.05 \cdot Qa(A) + 1.5 \cdot Qa(C)$.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.14} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} : \underline{36.99} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{244.64} \text{ cm}^3$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.176} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(A) + 1.05 \cdot Qa(C)$.

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

$$V_{Ed} : \underline{152.07} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.14} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{865.88} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{867.19} \text{ kN}$$

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.57} \text{ MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{244.64} \text{ cm}^3$$

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

Siendo:

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Qa(A) + 1.05 \cdot Qa(C)$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.26} \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.14} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{2945.03} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{2949.52} \text{ kN}$$

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.57} \text{ MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : \underline{244.64} \text{ cm}^3$$

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

2.2.4. Detalles 3D de los pilares:

A continuación, ofrecemos un detalle tridimensional del pilar más solicitado de cada agrupación:

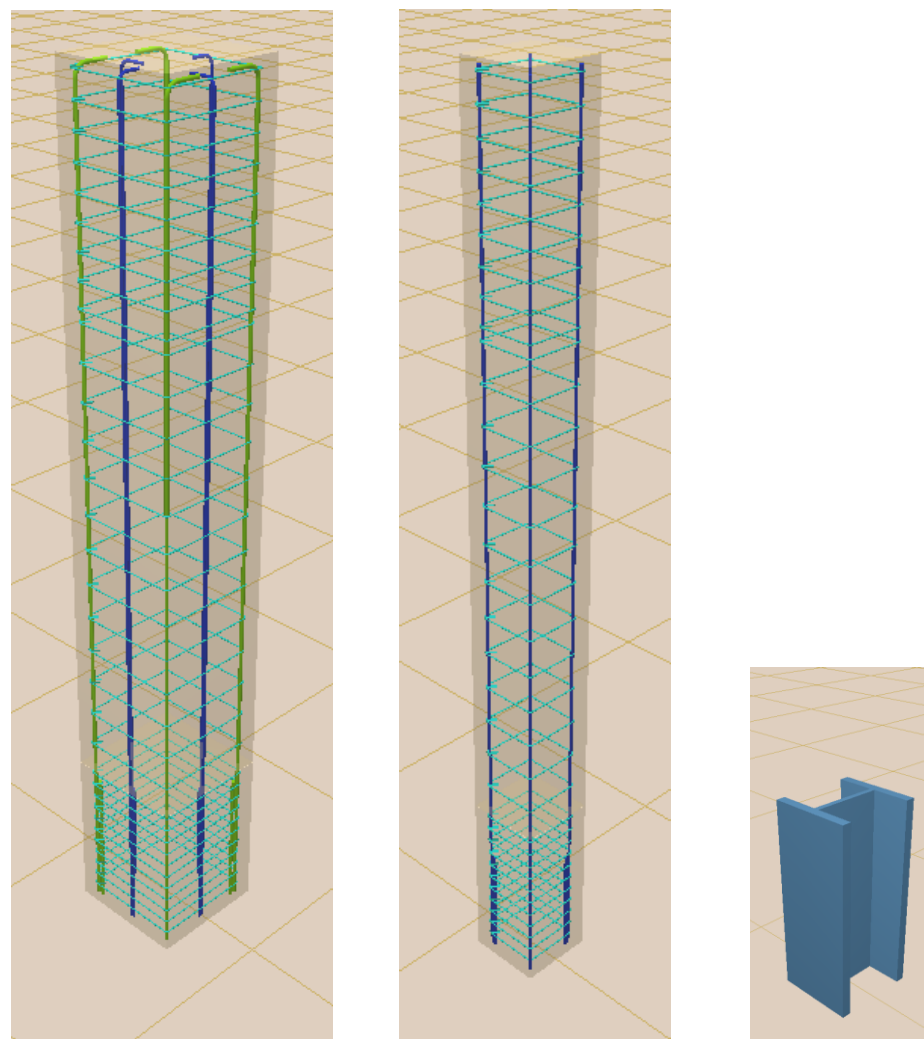


Imagen 8 – Detalle 3D de las agrupaciones 1, 2 y 5. Fuente: Propia

Tanto los pilares de la agrupación 1 y 3 son de 3,50 m de altura, uno de sección 50x50 y la otra de 30x30. El pilar de la agrupación 5 es un perfil metálico HEM 280.

El pilar de la agrupación 4 tiene 4,50 m de altura, siendo 3,50 m de sección de HA 65x65 y el otro metro es un perfil metálico HEM 320. El pilar de la agrupación tiene una altura de 7,00 m y es de sección 50x50.

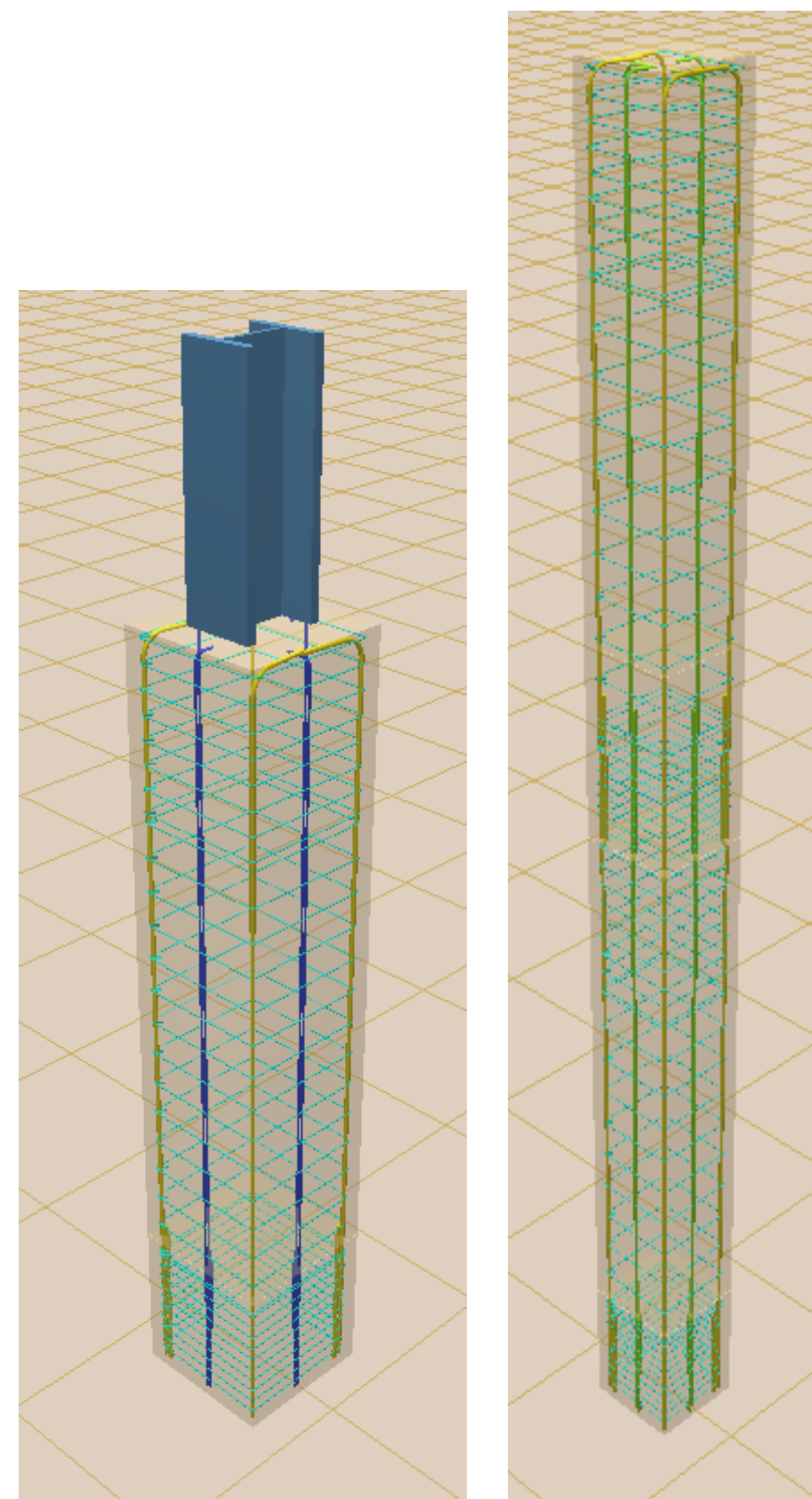


Imagen 9 – Detalle 3D de las agrupaciones 3 y 4. Fuente: Propia

2.3. Comprobaciones y dimensionamiento de vigas

2.3.1. Agrupación de vigas

En primer lugar, es necesario explicar los tipos de viga que se han utilizado y donde se han dispuesto en la estructura. Todas las vigas de la estructura de forjados y de graderíos son perfiles metálicos, exceptuando algún zuncho de borde en las inmediaciones de los huecos de escalera. Podemos distinguir cuatro principales tipos de viga:

- Vigas que forman parte de los pórticos de la estructura de graderíos (exceptuando las inclinadas, que se estudian en el apartado 2.4).
- Vigas que soportan escaleras o encierran huecos de escaleras del edificio auxiliar.
- Vigas que soportan el forjado reticular en la segunda planta.
- Vigas que soportan las viguetas armadas en la segunda planta.

Se ha dimensionado la viga con mayores solicitaciones de cada tipo, utilizando esta para todas las vigas de su mismo tipo. Debido a esto algunas vigas podrán tener aprovechamientos reducidos, pero la alternativa es disponer distintos perfiles para cada viga.

2.3.2. Comprobaciones resumidas de vigas

Para limitar la extensión de los listados de comprobación, solo se incluirán listados completos de la viga más desfavorable del pórtico de graderío superior y otra del graderío inferior (son los tramos superiores, que dan forma a los pasillos). Para el resto de vigas se proporcionará a continuación un listado resumido de las comprobaciones donde se podrá consultar el aprovechamiento de cada viga. Una

2.3.2.1. Primera planta

Tramos	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (EAE 2011)											Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	
P22 - B10	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 0 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 1.525 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	x: 1.15 m	x: 1.525 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 20.5$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 29.4$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 0.6$	$\eta = 26.6$	$\eta = 29.4$
B10 - P3	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 1.785 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 1.785 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta = 0.8$	x: 1.785 m	x: 1.785 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 75.7$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 66.1$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 59.3$	$\eta = 59.3$	$\eta = 75.7$
P23 - B24	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 0 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 0 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	x: 1.35 m	x: 1.525 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 16.9$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 29.4$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 1.8$	$\eta = 9.7$	$\eta = 29.4$
B24 - P5	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 0 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 1.845 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 1.845 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 4.1$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 10.8$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 0.7$	$\eta = 9.6$	$\eta = 10.8$
P19 - P9	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 0 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 0 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	x: 1.2 m	x: 0 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 48.8$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 23.9$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 2.4$	$\eta = 20.9$	$\eta = 48.8$
P20 - P11	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 0 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 0 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	x: 1.2 m	x: 0 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 46.8$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 22.9$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 2.3$	$\eta = 20.0$	$\eta = 46.8$
B33 - B28	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 7.22 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 6.206 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	x: 6.11 m	x: 6.206 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 6.6$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 7.1$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 16.5$	$\eta = 7.5$	$\eta = 16.5$
B30 - P49	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 2.405 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 2.405 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 2.405 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 39.8$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 27.2$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 1.2$	$\eta = 27.3$	$\eta = 39.8$
B29 - P48	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 2.405 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 2.405 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	x: 2.33 m	x: 2.405 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 44.5$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 29.4$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 0.5$	$\eta = 29.4$	$\eta = 44.5$
B28 - P47	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 2.14 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 2.14 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	x: 2.065 m	x: 2.14 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 42.5$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 29.2$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 0.1$	$\eta = 29.2$	$\eta = 42.5$

B27 - P46	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 2.405 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 2.405 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	x: 0 m	x: 2.405 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 43.2$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 28.6$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 1.7$	$\eta = 28.7$	$\eta = 43.2$
B26 - P45	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 2.405 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 2.405 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	x: 1.93 m	x: 2.405 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 35.4$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 23.4$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 0.2$	$\eta = 23.4$	$\eta = 35.4$
Notación:												
$\bar{\lambda}$: 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												
$M_y V_z$: 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												
Las interacciones $MzVy$, $NMyMz$, $NMyMzVyVz$ y $MtVy$ no proceden porque no hay interacción entre los esfuerzos.												

2.3.2.2. Segunda planta

Tramos	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (EAE 2011)											Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _t	M _t V _z	
B29 - B28	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 7.2 m η = 84.3	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 7.2 m η = 37.1	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	η < 0.1	x: 0 m η = 2.0	x: 7.2 m η = 31.1	CUMPLE η = 84.3
B28 - B27	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 82.8	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 7.2 m η = 30.7	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	η < 0.1	x: 6.41 m η = 2.5	x: 7.2 m η = 25.7	CUMPLE η = 82.8
B27 - B26	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 7.2 m η = 81.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 7.2 m η = 33.3	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	η < 0.1	x: 6.41 m η = 2.8	x: 7.2 m η = 28.0	CUMPLE η = 81.1
B26 - B25	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 85.2	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 33.0	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	η < 0.1	x: 7.13 m η = 8.5	x: 0 m η = 27.4	CUMPLE η = 85.2
B33 - B32	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 4.26 m η = 74.0	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 7.22 m η = 40.1	V _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁴⁾	η < 0.1	x: 6.42 m η = 1.8	x: 7.14 m η = 32.5	CUMPLE η = 74.0
P42 - P41	N.P. ⁽¹⁾	x: 0.325 m	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 3.53 m	M _{Ed} = 0.00	x: 7.22 m	V _{Ed} = 0.00	x: 0.325 m	x: 6.41 m	x: 7.13 m	CUMPLE
		$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	η = 54.3	N.P. ⁽³⁾	η = 20.9	N.P. ⁽⁴⁾	η < 0.1	η = 1.8	η = 14.8	η = 54.3
		Cumple										
P41 - P40	N.P. ⁽¹⁾	x: 0.33 m	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 3.54 m	M _{Ed} = 0.00	x: 7.22 m	V _{Ed} = 0.00	x: 0.33 m	x: 6.42 m	x: 7.14 m	CUMPLE
		$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	η = 68.3	N.P. ⁽³⁾	η = 26.4	N.P. ⁽⁴⁾	η < 0.1	η = 1.7	η = 18.5	η = 68.3
		Cumple										
P40 - P28	N.P. ⁽¹⁾	x: 0.33 m	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 3.54 m	M _{Ed} = 0.00	x: 7.22 m	V _{Ed} = 0.00	x: 0.33 m	x: 6.42 m	x: 7.14 m	CUMPLE
		$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	η = 68.2	N.P. ⁽³⁾	η = 26.4	N.P. ⁽⁴⁾	η < 0.1	η = 2.7	η = 18.6	η = 68.2
		Cumple										
P28 - P26	N.P. ⁽¹⁾	x: 0.33 m	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 3.54 m	M _{Ed} = 0.00	x: 7.22 m	V _{Ed} = 0.00	x: 0.33 m	x: 6.42 m	x: 7.14 m	CUMPLE
		$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	η = 68.2	N.P. ⁽³⁾	η = 26.4	N.P. ⁽⁴⁾	η < 0.1	η = 3.1	η = 18.6	η = 68.2
		Cumple										

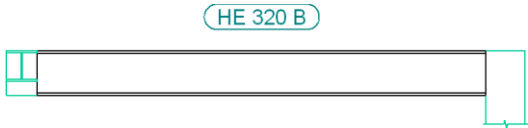
P26 - P25	N.P. ⁽¹⁾	x: 0.33 m	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 3.54 m	M _{Ed} = 0.00	x: 7.22 m	V _{Ed} = 0.00	x: 0.33 m	x: 0.66 m	x: 7.14 m	CUMPLE
		$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 68.3$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 26.5$	N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.9$	$\eta = 18.5$	$\eta = 68.3$
		Cumple										
P51 - P43	N.P. ⁽¹⁾	x: 0.03 m	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 7.72 m	M _{Ed} = 0.00	x: 7.72 m	V _{Ed} = 0.00	x: 0.03 m	x: 7.66 m	x: 7.72 m	CUMPLE
		$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 53.3$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 30.0$	N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	$\eta = 10.9$	$\eta = 27.7$	$\eta = 53.3$
		Cumple										
P50 - P42	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 7.61 m	M _{Ed} = 0.00	x: 7.61 m	V _{Ed} = 0.00	$\eta < 0.1$	x: 7.55 m	x: 7.61 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 68.6$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 46.7$	N.P. ⁽⁴⁾		$\eta = 9.6$	$\eta = 43.0$	$\eta = 68.6$
B29 - P41	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 3.22 m	M _{Ed} = 0.00	x: 3.22 m	V _{Ed} = 0.00	$\eta < 0.1$	$\eta = 3.9$	x: 3.22 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 40.5$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 31.2$	N.P. ⁽⁴⁾			$\eta = 29.8$	$\eta = 40.5$
B28 - P40	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 3.22 m	M _{Ed} = 0.00	x: 3.22 m	V _{Ed} = 0.00	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.7$	x: 3.22 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 40.6$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 25.1$	N.P. ⁽⁴⁾			$\eta = 24.2$	$\eta = 40.6$
B27 - P28	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 3.22 m	M _{Ed} = 0.00	x: 3.22 m	V _{Ed} = 0.00	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.1$	x: 3.22 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 42.5$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 25.9$	N.P. ⁽⁴⁾			$\eta = 25.2$	$\eta = 42.5$
B26 - P26	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 3.22 m	M _{Ed} = 0.00	x: 3.22 m	V _{Ed} = 0.00	$\eta < 0.1$	$\eta = 1.0$	x: 3.22 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 45.5$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 28.2$	N.P. ⁽⁴⁾			$\eta = 27.7$	$\eta = 45.5$
B25 - P25	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$	N _{Ed} = 0.00	N _{Ed} = 0.00	x: 3.22 m	M _{Ed} = 0.00	x: 3.22 m	V _{Ed} = 0.00	$\eta < 0.1$	$\eta = 3.5$	x: 3.22 m	CUMPLE
		Cumple	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽¹⁾	$\eta = 49.0$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 47.8$	N.P. ⁽⁴⁾			$\eta = 46.2$	$\eta = 49.0$

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
$M_y V_z$: 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
Las interacciones $M_z V_y$, $NM_y M_z$, $NM_y M_z V_y V_z$ y $M_t V_y$ no proceden porque no hay interacción entre los esfuerzos.

2.3.3. Comprobaciones de vigas

Como se ha dicho en el anterior apartado, a continuación se incluirán los listados de comprobaciones de dos vigas que forman parte de la estructura de graderío, una de la parte superior y otra de la inferior:

2.3.3.1. Viga pasillo grada superior

Datos de la viga	
	Geometría
	Referencia del perfil : HE 320 B
	Materiales
	Acero : S275 (EAE)

2.- RESUMEN DE LAS COMPROBACIONES

Tramo	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (EAE 2011)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$NM_y M_z$	$NM_y M_z V_y V_z$	M_t	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
B28 - P40	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	$x: 3.22 \text{ m}$ $\eta = 44.6$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$x: 3.22 \text{ m}$ $\eta = 27.0$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	$\eta = 0.6$	$x: 3.22 \text{ m}$ $\eta = 27.0$	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 44.6$
Notación:																
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez																
λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida																
N_t : Resistencia a tracción																
N_c : Resistencia a compresión																
M_y : Resistencia a flexión eje Y																
M_z : Resistencia a flexión eje Z																
V_z : Resistencia a corte Z																
V_y : Resistencia a corte Y																
$M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados																
$M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados																
$NM_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados																
$NM_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados																
M_t : Resistencia a torsión																
$M_y V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados																
$M_z V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados																
x : Distancia al origen de la barra																
η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																
N.P.: No procede																

Viga	A plazo infinito (Característica) $f_{T,max} \leq f_{T,lim}$ $f_{T,lim} = L/250$	A plazo infinito (Cuasipermanente) $f_{T,max} \leq f_{T,lim}$ $f_{T,lim} = L/300$	Activa (Característica) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = L/400$	Activa (Frecuente) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = L/350$	Estado
B28 - P40	$f_{T,max}$: 0.55 mm $f_{T,lim}$: 7.60 mm	$f_{T,max}$: 0.41 mm $f_{T,lim}$: 6.23 mm	$f_{A,max}$: 0.48 mm $f_{A,lim}$: 5.00 mm	$f_{A,max}$: 0.38 mm $f_{A,lim}$: 5.71 mm	CUMPLE

3.- COMPROBACIONES DE RESISTENCIA

B28 - P40

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$24.26 \leq 165.47 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : 279.00 mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : 11.50 mm
A_w : Área del alma.	A_w : 32.09 cm ²
$A_{f,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{f,ef}$: 61.50 cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : 0.30
E : Módulo de elasticidad.	E : 210000 MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : 275.00 MPa
Siendo:	

Resistencia a tracción (EAE 2011, Artículo 34.2)

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

Resistencia a compresión (EAE 2011, Artículo 34.3)

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.446 \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

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

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

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo P40, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$M_{Ed}^- : 250.96 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : 562.83 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$\text{Clase} : 1$$

$$W_{pl,y} : 2149.00 \text{ cm}^3$$

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

Siendo:

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

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

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

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

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ : 0.00$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- : 0.45$$

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

$$M_{Ed}^+ / M_{cr}^+ : 0.000$$

$$M_{Ed}^- / M_{cr}^- : 0.086$$

Donde:

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

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

$$W_{pl,y} : 2149.00 \text{ cm}^3$$

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

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

$$M_{cr}^+ : \infty$$

$$M_{cr}^- : 2926.33 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

Siendo:

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

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_w : Constante de alabeo de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

G : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$I_z : 9239.00 \text{ cm}^4$$

$$I_t : 225.10 \text{ cm}^4$$

$$I_w : 2069000.00 \text{ cm}^6$$

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

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

$$L_c^+ : 0.000 \text{ m}$$

$$L_c^- : 3.470 \text{ m}$$

$$C_1 : 1.00$$

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₂: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₃: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

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

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

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

$$C_2 : 1.00$$

$$C_3 : 1.00$$

$$k_z^+ : 0.00$$

$$k_z^- : 1.08$$

$$k_w^+ : 0.00$$

$$k_w^- : 1.08$$

$$z_g : 0.00 \text{ mm}$$

Siendo:

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

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

z_j: Parámetro de asimetría de la sección, respecto al eje Y.

$$z_a : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_s : 0.00 \text{ mm}$$

$$z_j : 0.00 \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

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

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

$$24.26 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : 24.26$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{máx} : 55.46$$

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

$$\eta : 1.20$$

ε: Factor de reducción.

$$\varepsilon : 0.92$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

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

Resistencia a corte Z (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.270 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo P40, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$V_{Ed} : 150.14 \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : 556.46 \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : 36.80 \text{ cm}^2$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : 320.00 \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : 11.50 \text{ mm}$$

Resistencia a corte Y (EAE 2011, Artículo 34.5)

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

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

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

$$132.61 \text{ kN} \leq 278.23 \text{ kN} \quad \checkmark$$

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

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

$$V_{Ed} : 132.61 \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : 556.46 \text{ kN}$$

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

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

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

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 (EAE 2011, Artículo 34.7.3)

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

Resistencia a torsión (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

$\eta : 0.006$ ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$M_{T,Ed} : 0.10$ kN·m

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

$M_{T,Rd} : 16.60$ kN·m

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 109.80$ cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90$ MPa

Siendo:

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

$f_y : 275.00$ MPa

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

$\gamma_{mo} : 1.05$

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

Se debe satisfacer:

$\eta : 0.270$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo P40, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$V_{Ed} : 150.14$ kN

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

$M_{T,Ed} : 0.10$ kN·m

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

$V_{pl,T,Rd} : 555.14$ kN

Donde:

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

$V_{pl,Rd} : 556.46$ kN

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

$\tau_{T,Ed} : 0.89$ MPa

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$W_T : 109.80$ cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : 261.90$ MPa

Siendo:

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

$f_y : 275.00$ MPa

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

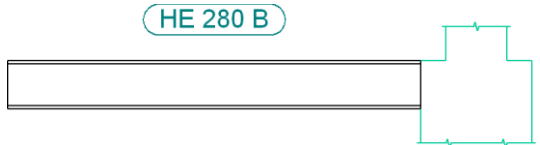
$\gamma_{mo} : 1.05$

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

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

2.3.3.2. Viga pasillo grada inferior

1.- DESCRIPCIÓN

Datos de la viga	
	Geometría
	Referencia del perfil : HE 280 B
	Materiales
	Acero : S275 (EAE)

2.- RESUMEN DE LAS COMPROBACIONES

Tramo	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (EAE 2011)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_{wv}	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	$M_t V_z$	$M_t V_y$	
B27 - P46	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv, \max}$	$N_{Ed} = 0.00$	$N_{Ed} = 0.00$	x: 2.405 m	$M_{Ed} = 0.00$	x: 2.405 m	$V_{Ed} = 0.00$	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	x: 0 m	x: 2.405 m	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 45.8$
Notación:																
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez																
λ_{wv} : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida																
N_t : Resistencia a tracción																
N_c : Resistencia a compresión																
M_y : Resistencia a flexión eje Y																
M_z : Resistencia a flexión eje Z																
V_z : Resistencia a corte Z																
V_y : Resistencia a corte Y																
$M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados																
$M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados																
$NM_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados																
$NM_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados																
M_t : Resistencia a torsión																
$M_y V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados																
$M_z V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados																
x: Distancia al origen de la barra																
η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																
N.P.: No procede																



Viga	A plazo infinito (Característica) $f_{T,max} \leq f_{T,lim}$ $f_{T,lim} = L/250$	A plazo infinito (Cuasipermanente) $f_{T,max} \leq f_{T,lim}$ $f_{T,lim} = L/300$	Activa (Característica) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = L/400$	Activa (Frecuente) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = L/350$	Estado
B27 - P46	$f_{T,max}$: 4.10 mm $f_{T,lim}$: 19.24 mm	$f_{T,max}$: 3.10 mm $f_{T,lim}$: 16.03 mm	$f_{A,max}$: 3.50 mm $f_{A,lim}$: 12.03 mm	$f_{A,max}$: 2.75 mm $f_{A,lim}$: 13.74 mm	CUMPLE

3.- COMPROBACIONES DE RESISTENCIA

B27 - P46

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$23.24 \leq 163.34 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

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

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

E : Módulo de elasticidad.

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

Siendo:

$$h_w : 244.00 \text{ mm}$$

$$t_w : 10.50 \text{ mm}$$

$$A_w : 25.62 \text{ cm}^2$$

$$A_{f_{c,ef}} : 50.40 \text{ cm}^2$$

$$k : 0.30$$

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

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

Resistencia a tracción (EAE 2011, Artículo 34.2)

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

Resistencia a compresión (EAE 2011, Artículo 34.3)

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.458 \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

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

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

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo P46, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$M_{Ed}^- : 183.92 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{c,Rd} : 401.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : 1$$

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

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

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

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

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

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

$$M_{Ed}^+ / M_{cr}^+ : 0.000$$

$$M_{Ed}^- / M_{cr}^- : 0.065$$

Donde:

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

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

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

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

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

$$M_{cr} : 2810.37 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

Siendo:

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

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

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 143.70 \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

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

E : Módulo de elasticidad.

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

G: Módulo de elasticidad transversal.

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

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₂: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₃: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

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

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

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

Siendo:

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

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

z_j: Parámetro de asimetría de la sección, respecto al eje Y.

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

$$L_c^+ : \underline{2.730} \text{ m}$$

$$L_c^- : \underline{2.730} \text{ m}$$

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$$C_2 : \underline{1.00}$$

$$C_3 : \underline{1.00}$$

$$k_z : \underline{1.14}$$

$$k_w : \underline{1.14}$$

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

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

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

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

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{29.40} \text{ cm}^2$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$h : \underline{280.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.50} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

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

$$23.24 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{23.24}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{máx} : \underline{55.46}$$

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

$$\eta : \underline{1.20}$$

ε: Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

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

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

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

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

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

Resistencia a corte Z (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.302} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo P46, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$V_{Ed} : \underline{134.18} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{444.56} \text{ kN}$$

Resistencia a corte Y (EAE 2011, Artículo 34.5)

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

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

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

$$31.74 \text{ kN} \leq 222.28 \text{ kN} \quad \checkmark$$

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pèsimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$V_{Ed} : 31.74 \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : 444.56 \text{ kN}$$

$$\eta : 0.303 \quad \checkmark$$

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

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

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

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 (EAE 2011, Artículo 34.7.3)

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

Resistencia a torsión (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.014 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pèsimo se produce en el nudo B27, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$M_{T,Ed} : 0.17 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} : 12.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : 79.83 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

Se debe satisfacer:

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pèsimos se producen en el nudo P46, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$V_{Ed} : 134.18 \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : 0.12 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : 442.80 \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : 444.56 \text{ kN}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : 1.49 \text{ MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : 79.83 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

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

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

2.4. Comprobaciones y dimensionamiento de vigas inclinadas

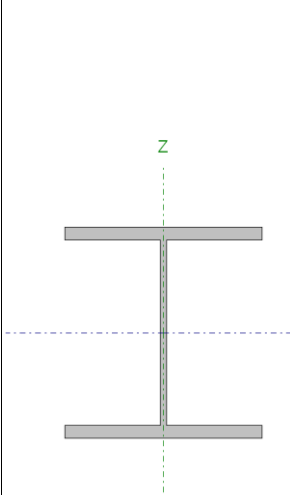
Las vigas inclinadas son las vigas que más solicitadas están en este modelo, al no solo recibir el área tributaria de sobrecarga sino el de la carga muerta de las propias gradas. Procederemos de la misma forma que en el apartado anterior, dando una tabla resumen de las comprobaciones y a continuación listados de comprobaciones de las vigas más solicitadas en cada parte de la estructura de graderío.

2.4.1. Comprobaciones resumidas de vigas inclinadas

Tramos	COMPROBACIONES (EAE 2011)											Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_{Ed}	N_c	M_y	M_z	V_z	$M_y V_z$	$N M_y M_z$	$N M_y M_z V_z$	$M_y V_z$	
Cota inferior grada superior (P49) - Forjado 2 (Pórtico)	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ $N_{p.}^{(1)}$	$\eta = 6.5$	$\eta = 42.2$	$\eta = 25.8$	$\eta = 30.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 55.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 30.7$	CUMPLE $\eta = 55.7$
Cota inferior grada superior (P48) - Forjado 2 (Pórtico)	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ $N_{p.}^{(1)}$	$\eta = 15.4$	$\eta = 72.3$	$\eta = 5.3$	$\eta = 51.4$	$\eta = 64.1$	$\eta = 87.9$	$\eta = 74.7$	$\eta = 51.4$	CUMPLE $\eta = 87.9$
Cota inferior grada superior (P46) - Forjado 2 (Pórtico)	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ $N_{p.}^{(1)}$	$\eta = 11.8$	$\eta = 72.1$	$\eta = 5.5$	$\eta = 49.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 84.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 49.7$	CUMPLE $\eta = 84.1$
Cota inferior grada superior (P45) - Forjado 2 (Pórtico)	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.7$	$\eta = 2.2$	$\eta = 51.2$	$\eta = 25.9$	$\eta = 32.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 59.8$	$\eta < 0.1$	$\eta = 32.9$	CUMPLE $\eta = 59.8$
Cota inferior grada superior (P47) - Forjado 2 (Pórtico)	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ $N_{p.}^{(1)}$	$\eta = 13.0$	$\eta = 72.2$	$\eta = 0.2$	$\eta = 51.6$	$\eta = 64.0$	$\eta = 85.3$	$\eta = 72.9$	$\eta = 51.6$	CUMPLE $\eta = 85.3$
Cota inferior grada inferior (P57) - Forjado 1 (Pórtico)	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 2.3$	$\eta = 1.7$	$\eta = 30.4$	$\eta = 0.2$	$\eta = 26.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 32.2$	$\eta < 0.1$	$\eta = 26.7$	CUMPLE $\eta = 32.2$
Cota inferior grada inferior (P56) - Forjado 1 (Pórtico)	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.8$	$\eta = 13.9$	$\eta = 65.0$	$\eta = 0.1$	$\eta = 47.7$	$\eta < 0.1$	$\eta = 78.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 47.7$	CUMPLE $\eta = 78.4$
Cota inferior grada inferior (P53) - Forjado 1 (-22.5)	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.4$	$\eta = 14.9$	$\eta = 64.3$	$\eta = 0.7$	$\eta = 47.5$	$\eta < 0.1$	$\eta = 78.9$	$\eta < 0.1$	$\eta = 47.5$	CUMPLE $\eta = 78.9$
Cota inferior grada inferior (P52) - Forjado 1 (-15)	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 1.6$	$\eta = 2.8$	$\eta = 29.1$	$\eta = 0.5$	$\eta = 26.0$	$\eta < 0.1$	$\eta = 32.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 26.0$	CUMPLE $\eta = 32.4$
Cota inferior grada inferior (P55) - Forjado 1 (Pórtico)	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.4$	$\eta = 3.0$	$\eta = 31.5$	$\eta = 1.0$	$\eta = 25.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 35.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 25.1$	CUMPLE $\eta = 35.1$
Cota inferior grada inferior (P54) - Forjado 1 (Pórtico)	$\bar{\lambda} < 3.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 0.2$	$\eta = 3.3$	$\eta = 29.3$	$\eta = 0.7$	$\eta = 23.8$	$\eta < 0.1$	$\eta = 33.2$	$\eta < 0.1$	$\eta = 23.8$	CUMPLE $\eta = 33.2$

2.4.2. Comprobaciones en vigas

2.4.2.1. Viga inclinada grada superior

Perfil: HE 320 B Material: Acero (S275 (EAE))							
	Origen	Extremo	Longitud (m)	Características mecánicas			
				Área (cm²)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _z ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)
	Cota inferior grada superior (P48)	Forjado 2 (Pórtico 7)	5.099	161.30	30820.00	9239.00	225.10
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	1.00	1.00	1.00	1.00		
	L _K	5.099	5.099	5.099	5.099		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

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

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

$\bar{\lambda}$: **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 : 1

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

A : 161.30 cm²

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

f_y : 275.00 MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 7365.96 kN

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

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

N_{cr,y} : 24571.79 kN

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

N_{cr,z} : 7365.96 kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : 13983.67 \text{ kN}$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y : 30820.00 cm ⁴
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : 9239.00 cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : 225.10 cm ⁴
I_w : Constante de alabeo de la sección.	I_w : 2069000.00 cm ⁶
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} : 5.099 m
L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} : 5.099 m
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} : 5.099 m
i_o : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_o : 15.76 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 : 13.82 cm
	i_z : 7.57 cm
y_o , z_o : 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_o : 0.00 mm
	z_o : 0.00 mm

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

Se debe satisfacer:

$$24.26 \leq 165.47 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : 279.00 mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : 11.50 mm
A_w : Área del alma.	A_w : 32.09 cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : 61.50 cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : 0.30
E : Módulo de elasticidad.	E : 210000 MPa
f_{yt} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yt} : 275.00 MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (EAE 2011, Artículo 34.2)

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

Resistencia a compresión (EAE 2011, Artículo 34.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.111 \quad \checkmark$$

$$\eta : 0.165 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$N_{c,Ed} : 470.73 \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} : 4224.52 \text{ kN}$$

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.

$$\text{Clase} : 1$$

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

$$A : 161.30 \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.1)

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

$$N_{b,Rd} : 2860.94 \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : 161.30 \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

γ_{m1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{m1} : 1.05$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : 0.92$$

Siendo:

α : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

Para flexión positiva:

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

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

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

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.

$$\chi_z : 0.68$$

$$\chi_T : 0.81$$

$$\phi_y : 0.63$$

$$\phi_z : 0.94$$

$$\phi_T : 0.75$$

$$\alpha_y : 0.34$$

$$\alpha_z : 0.49$$

$$\alpha_T : 0.49$$

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

$$\bar{\lambda}_z : 0.78$$

$$\bar{\lambda}_T : 0.56$$

$$N_{cr} : 7365.96 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} : 24571.79 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} : 7365.96 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} : 13983.67 \text{ kN}$$

$$\eta : 0.675 \quad \checkmark$$

$$\eta : 0.761 \quad \checkmark$$

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

$$M_{Ed}^- : 379.99 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{c,Rd} : 562.83 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase} : 1$$

$$W_{pl,y} : 2149.00 \text{ cm}^3$$

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

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

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

$$M_{b,Rd} : 499.23 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_{pl,y} : 2149.00 \text{ cm}^3$$

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

Siendo:

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

γ_{m1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

$$\gamma_{m1} : 1.05$$

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

$$\chi_{LT} : 0.89$$

Siendo:

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\phi_{LT} : 0.73$$

$$\alpha_{LT} : 0.21$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : 0.61$$

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

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

$$M_{cr} : 1599.40 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

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

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_w : Constante de alabeo de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

$$I_z : 9239.00 \text{ cm}^4$$

$$I_t : 225.10 \text{ cm}^4$$

$$I_w : 2069000.00 \text{ cm}^6$$

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

G: Módulo de elasticidad transversal.

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

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₂: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₃: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

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

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

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

Siendo:

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

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

z_j: Parámetro de asimetría de la sección, respecto al eje Y.

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

$$\mathbf{L_c^+} : \underline{5.099} \text{ m}$$

$$\mathbf{L_c^-} : \underline{5.099} \text{ m}$$

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

$$\mathbf{C_2} : \underline{1.00}$$

$$\mathbf{C_3} : \underline{1.00}$$

$$\mathbf{k_z} : \underline{1.00}$$

$$\mathbf{k_w} : \underline{1.00}$$

$$\mathbf{z_g} : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$\mathbf{z_a} : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$\mathbf{z_s} : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$\mathbf{z_j} : \underline{0.00} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\mathbf{\gamma_{mo}} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

$$\mathbf{\eta} : \underline{0.529} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$\mathbf{V_{Ed}} : \underline{294.51} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{V_{c,Rd}} : \underline{556.46} \text{ kN}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$\mathbf{A_v} : \underline{36.80} \text{ cm}^2$$

Siendo:

h: Canto de la sección.

$$\mathbf{h} : \underline{320.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$\mathbf{t_w} : \underline{11.50} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\mathbf{\gamma_{mo}} : \underline{1.05}$$

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

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

$$\mathbf{24.26 < 55.46} \checkmark$$

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

$$\mathbf{\lambda_w} : \underline{24.26}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\mathbf{\eta} : \underline{0.051} \checkmark$$

Para flexión positiva:

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

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

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$\mathbf{M_{Ed}^-} : \underline{12.67} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{M_{c,Rd}} : \underline{245.95} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

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

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

$$\mathbf{W_{pl,z}} : \underline{939.10} \text{ cm}^3$$

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

$\lambda_{\text{máx}}$: 55.46

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

ε : Factor de reducción.

η : 1.20

ε : 0.92

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

f_{ref} : 235.00 MPa

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a corte Y (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

η : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

V_{Ed} : 2.57 kN

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

$V_{\text{c,Rd}}$: 1953.87 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 129.22 cm²

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

d : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A : 161.30 cm²

d : 279.00 mm

t_w : 11.50 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

Siendo:

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

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

f_y : 275.00 MPa

γ_{Mo} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

η : 0.675 ✓

Ya que el esfuerzo cortante solicitante V_{Ed} es superior al 50% del esfuerzo cortante resistente $V_{\text{c,Rd}}$, es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

294.51 > 278.23 kN

Donde:

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

V_{Ed} : 294.51 kN

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

$V_{\text{c,Rd}}$: 556.46 kN

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

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

M_{Ed} : 379.99 kN·m

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

V_{Ed} : 294.51 kN

El momento flector resistente de cálculo reducido $M_{\text{v,Rd}}$ viene dado por:

$M_{\text{v,Rd}}$: 562.57 kN·m

Donde:

W_{pl} : Módulo resistente plástico.

ρ : Coeficiente de reducción por interacción de esfuerzos.

W_{pl} : 2149.00 cm³

ρ : 0.00

Siendo:

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

$V_{\text{pl,Rd}}$: 556.46 kN

A_v : Área transversal a cortante.

t_w : Espesor del alma.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

A_v : 36.80 cm²

t_w : 11.50 mm

f_{yd} : 261.90 MPa

Siendo:

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

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

$M_{\text{c,Rd}}$: Momento flector resistente de cálculo.

f_y : 275.00 MPa

γ_{Mo} : 1.05

$M_{\text{c,Rd}}$: 562.83 kN·m

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

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

$$2.57 \text{ kN} \leq 976.94 \text{ kN} \quad \checkmark$$

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

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

$$V_{Ed} : \underline{2.57} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{1953.87} \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.458} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.932} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.593} \quad \checkmark$$

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

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{470.73} \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Ed} : \underline{379.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{562.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{245.95} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\alpha : \underline{2.000}$$

$$\beta : \underline{1.000}$$

Siendo:

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

$$N_{pl,Rd} : \underline{4224.52} \text{ kN}$$

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

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{562.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{245.95} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a : \underline{0.24}$$

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{161.30} \text{ cm}^2$$

b: Ancho del ala.

$$b : \underline{30.00} \text{ cm}$$

t_f: Espesor del ala.

$$t_f : \underline{20.50} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.3)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{161.30} \text{ cm}^2$$

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

$$W_{pl,y} : \underline{2149.00} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{939.10} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

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

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

$$K_{yy} : \underline{1.06}$$

$$K_{yz} : \underline{0.94}$$

$$K_{zy} : \underline{0.56}$$

$$K_{zz} : \underline{1.12}$$

Términos auxiliares:

$$\mu_y : \underline{1.00}$$

$$\mu_z : \underline{0.98}$$

$$C_{yy} : 1.00$$

$$C_{yz} : 0.79$$

$$C_{zy} : 0.96$$

$$C_{zz} : 0.94$$

$$a_{LT} : 0.99$$

$$b_{LT} : 0.00$$

$$c_{LT} : 0.52$$

$$d_{LT} : 0.00$$

$$e_{LT} : 1.69$$

$$w_y : 1.12$$

$$w_z : 1.50$$

$$n_{pl} : 0.11$$

Puesto que:

$$0.61 > 0.20$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

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

$$C_{m,LT} : 1.04$$

$$\varepsilon_y : 6.06$$

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

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

$$C_1 : 1.00$$

$$\chi_y : 0.92$$

$$\chi_z : 0.68$$

$$\chi_{LT} : 0.89$$

$$\bar{\lambda}_{máx} : 0.78$$

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

$$\bar{\lambda}_z : 0.78$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : 0.61$$

$$\bar{\lambda}_0 : 0.61$$

$$W_{el,y} : 1926.25 \text{ cm}^3$$

$$W_{el,z} : 615.93 \text{ cm}^3$$

$$N_{cr,y} : 24571.79 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} : 7365.96 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} : 13983.67 \text{ kN}$$

$$I_y : 30820.00 \text{ cm}^4$$

$$I_t : 225.10 \text{ cm}^4$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.789 \quad \checkmark$$

Ya que el esfuerzo cortante solicitante V_{Ed} es superior al 50% del esfuerzo cortante resistente $V_{c,Rd}$, es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil.

$$294.51 \text{ kN} \leq 277.72 \text{ kN}$$

Donde:

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

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

$$V_{Ed,z} : 294.51 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : 555.44 \text{ kN}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_{c,Ed} &: \underline{470.73} \text{ kN} \\ \mathbf{M}_{y,Ed} &: \underline{379.99} \text{ kN} \\ \mathbf{M}_{z,Ed} &: \underline{0.44} \text{ kN} \end{aligned}$$

El axil resistente de cálculo reducido **N_{v,Rd}** viene dado por:

$$\mathbf{N}_{v,Rd} : \underline{4221.45} \text{ kN}$$

Donde:

ρ_N: Coeficiente de reducción ponderado por interacción de esfuerzos.

$$\rho_N : \underline{0.00}$$

Siendo:

S_w: Relación entre el área bruta del alma y el área bruta de la sección.

$$\mathbf{S}_w : \underline{0.199}$$

S_f: Relación entre el área bruta del ala y el área bruta de la sección.

$$\mathbf{S}_f : \underline{0.801}$$

Los momentos flectores resistentes de cálculo reducido **M_{v,Rd,y}** y **M_{v,Rd,z}** vienen dados por:

$$\mathbf{M}_{v,Rd,y} : \underline{562.55} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M}_{v,Rd,z} : \underline{245.95} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

ρ_{yy}, **ρ_{zz}**: Coeficientes de reducción por interacción de esfuerzos.

$$\rho_{yy} : \underline{0.00}$$

$$\rho_{zz} : \underline{0.00}$$

Siendo:

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

$$\mathbf{V}_{Ed,y} : \underline{2.57} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{V}_{Ed,z} : \underline{294.51} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{V}_{pl,Rd,y} : \underline{1950.32} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{V}_{pl,Rd,z} : \underline{555.44} \text{ kN}$$

A_{v,z}: Áreas transversales a cortante.

$$\mathbf{A}_{v,z} : \underline{36.80} \text{ cm}^2$$

t_w: Espesor del alma.

$$\mathbf{t}_w : \underline{11.50} \text{ mm}$$

W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Módulos resistentes plásticos.

$$\mathbf{W}_{pl,y} : \underline{2149.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\begin{aligned} \mathbf{W}_{pl,z} &: \underline{939.10} \text{ cm}^3 \\ \mathbf{f}_{yd} &: \underline{261.90} \text{ MPa} \end{aligned}$$

Siendo:

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

$$\mathbf{f}_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

N_{c,Rd}: Axil resistente de cálculo.

$$\mathbf{N}_{c,Rd} : \underline{4224.52} \text{ kN}$$

M_{c,Rd,y}, **M_{c,Rd,z}**⁺: Momentos flectores resistentes de cálculo.

$$\mathbf{M}_{c,Rd,y} : \underline{562.83} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M}_{c,Rd,z} : \underline{245.95} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a torsión (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.005} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$\mathbf{M}_{T,Ed} : \underline{0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{M}_{T,Rd} : \underline{16.60} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T: Módulo de resistencia a torsión.

$$\mathbf{W}_T : \underline{109.80} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f}_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

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

$$\mathbf{f}_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.530} \checkmark$$

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

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

$$\mathbf{V}_{Ed} : \underline{294.51} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{M}_{T,Ed} : \underline{0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : 555.44 \text{ kN}$$

Donde:

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

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

$$V_{pl,Rd} : 556.46 \text{ kN}$$

$$\tau_{T,Ed} : 0.69 \text{ MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : 109.80 \text{ cm}^3$$

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

Siendo:

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.001 \checkmark$$

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

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

$$V_{Ed} : 2.57 \text{ kN}$$

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

$$M_{T,Ed} : 0.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} : 1950.32 \text{ kN}$$

Donde:

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

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

$$V_{pl,Rd} : 1953.87 \text{ kN}$$

$$\tau_{T,Ed} : 0.69 \text{ MPa}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$W_T : 109.80 \text{ cm}^3$$

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

Siendo:

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

2.4.2.2. Viga inclinada grada inferior

Perfil: HE 280 B Material: Acero (S275 (EAE))							
	Origen	Extremo	Longitud (m)	Características mecánicas			
				Área (cm²)	I _y ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm⁴)
	Cota inferior grada inferior (P53)	Forjado 1 (-22.5, 37.27)	5.888	131.40	19270.00	6595.00	143.70
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
	β	1.00	1.00	1.00	1.00		
	L _k	5.888	5.888	5.888	5.888		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000			
C ₁	-		1.000				
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

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

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

$$\bar{\lambda} : 0.96 \checkmark$$

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.

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

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

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$\text{Clase} : 1$$

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

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

$$N_{cr} : 3943.31 \text{ kN}$$

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.

$$N_{cr,y} : 11522.00 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : 3943.31 \text{ kN}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : 9345.71 \text{ kN}$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	I_y : <u>19270.00</u> cm ⁴
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : <u>6595.00</u> cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>143.70</u> cm ⁴
I_w : Constante de alabeo de la sección.	I_w : <u>1130000.00</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>5.888</u> m
L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	L_{kz} : <u>5.888</u> m
L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	L_{kt} : <u>5.888</u> m
i_o : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	i_o : <u>14.03</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>12.11</u> cm
	i_z : <u>7.08</u> cm
y_o , z_o : 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_o : <u>0.00</u> mm
	z_o : <u>0.00</u> mm

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

Se debe satisfacer:

$$23.24 \leq 163.34 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>244.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>10.50</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>25.62</u> cm ²
A_{fc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{fc,ef} : <u>50.40</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000</u> MPa
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (EAE 2011, Artículo 34.2)

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

Resistencia a compresión (EAE 2011, Artículo 34.3)

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.138} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$\mathbf{N_{c,Ed}} : \underline{268.04} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{3441.43} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

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

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\mathbf{\gamma_{mo}} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo (EAE 2011, Artículo 35.1)

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

$$\mathbf{N_{b,Rd}} : \underline{1944.77} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

γ_{m1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma_{m1}} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

Siendo:

α : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

Para flexión positiva:

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

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

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

Donde:

$$\begin{aligned}\chi_y &: 0.86 \\ \chi_z &: 0.57 \\ \chi_T &: 0.77\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi_y &: 0.72 \\ \phi_z &: 1.14 \\ \phi_T &: 0.80\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_y &: 0.34 \\ \alpha_z &: 0.49 \\ \alpha_T &: 0.49\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{\lambda}_y &: 0.56 \\ \bar{\lambda}_z &: 0.96 \\ \bar{\lambda}_T &: 0.62\end{aligned}$$

$$N_{cr} : 3943.31 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} : 11522.00 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} : 3943.31 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} : 9345.71 \text{ kN}$$

$$\eta : 0.544 \quad \checkmark$$

$$\eta : 0.643 \quad \checkmark$$

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

$$M_{Ed}^- : 218.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{c,Rd} : 401.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase} : 1$$

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.

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

Siendo:

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

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

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

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

Donde:

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

Siendo:

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

γ_{m1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Siendo:

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

Siendo:

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

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

$$M_{b,Rd} : 339.88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

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

$$\gamma_{m1} : 1.05$$

$$\chi_{LT} : 0.85$$

$$\phi_{LT} : 0.80$$

$$\alpha_{LT} : 0.21$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : 0.70$$

$$M_{cr} : 851.72 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$I_t : 143.70 \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

G: Módulo de elasticidad transversal.

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

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₂: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₃: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

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

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

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

Siendo:

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

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

z_j: Parámetro de asimetría de la sección, respecto al eje Y.

I_w : 1130000.00 cm⁶

E : 210000 MPa

G : 81000 MPa

L_c⁺ : 5.888 m

L_c⁻ : 5.888 m

C₁ : 1.00

C₂ : 1.00

C₃ : 1.00

k_z : 1.00

k_w : 1.00

z_g : 0.00 mm

z_a : 0.00 mm

z_s : 0.00 mm

z_j : 0.00 mm

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.

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

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

W_{pl,z} : 717.60 cm³

f_{yd} : 261.90 MPa

Siendo:

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

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

f_y : 275.00 MPa

γ_{mo} : 1.05

Resistencia a corte Z (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

η : 0.475 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

V_{Ed} : 211.21 kN

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

V_{c,Rd} : 444.56 kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

A_v : 29.40 cm²

Siendo:

h: Canto de la sección.

t_w: Espesor del alma.

h : 280.00 mm

t_w : 10.50 mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

Siendo:

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

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

f_y : 275.00 MPa

γ_{mo} : 1.05

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

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

Se debe satisfacer:

η : 0.008 ✓

Para flexión positiva:

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

M_{Ed}⁺ : 0.00 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

M_{Ed}⁻ : 1.51 kN·m

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

M_{c,Rd} : 187.94 kN·m

Donde:

Clase : 1

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

$$23.24 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : 23.24$$

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

$$\lambda_{m\acute{a}x} : 55.46$$

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

$$\eta : 1.20$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : 0.92$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

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

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

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

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

$$\gamma_{mo} : 1.05$$

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

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

$$211.21 \text{ kN} \leq 222.28 \text{ kN} \quad \checkmark$$

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

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

$$V_{Ed} : 211.21 \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : 444.56 \text{ kN}$$

Resistencia a corte Y (EAE 2011, Artículo 34.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta < 0.001 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$V_{Ed} : 0.29 \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : 1599.51 \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : 105.78 \text{ cm}^2$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

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

d : Altura del alma.

$$d : 244.00 \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : 10.50 \text{ mm}$$

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

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

$$0.29 \text{ kN} \leq 799.75 \text{ kN} \quad \checkmark$$

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

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

$$V_{Ed} : 0.29 \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : 1599.51 \text{ kN}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.297} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.780} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.501} \quad \checkmark$$

Siendo:

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

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

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

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

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

$$K_{yy} : \underline{1.07}$$

$$K_{yz} : \underline{1.00}$$

$$K_{zy} : \underline{0.56}$$

$$K_{zz} : \underline{1.07}$$

Términos auxiliares:

$$\mu_y : \underline{1.00}$$

$$\mu_z : \underline{0.97}$$

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

Donde:

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

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

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.

$M_{N,Rd,y}, M_{N,Rd,z}$: Momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$N_{c,Ed} : \underline{268.04} \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} : \underline{218.51} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{N,Rd,y} : \underline{401.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{187.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\alpha : \underline{2.000}$$

$$\beta : \underline{1.000}$$

Siendo:

$$n : \underline{0.078}$$

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

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

$$N_{pl,Rd} : \underline{3441.43} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{401.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{187.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a : \underline{0.23}$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

t_f: Espesor del ala.

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

$$b : \underline{28.00} \text{ cm}$$

$$t_f : \underline{18.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (EAE 2011, Artículo 35.3)

A: Área de la sección bruta.

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

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{717.60} \text{ cm}^3$$

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

$$C_{yy} : \underline{0.99}$$

$$C_{yz} : \underline{0.74}$$

$$C_{zy} : \underline{0.95}$$

$$C_{zz} : \underline{0.97}$$

$$a_{LT} : \underline{0.99}$$

$$b_{LT} : \underline{0.00}$$

$$C_{LT} : 0.54$$

$$d_{LT} : 0.00$$

$$e_{LT} : 0.81$$

$$w_y : 1.11$$

$$w_z : 1.50$$

$$n_{pl} : 0.08$$

Puesto que:

$$0.70 > 0.20$$

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

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

$$C_{m,LT} : 1.04$$

$$\varepsilon_y : 6.98$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$C_1 : 1.00$$

$$\chi_y : 0.86$$

$$\chi_z : 0.57$$

$$\chi_{LT} : 0.85$$

$$\bar{\lambda}_{máx} : 0.96$$

$$\bar{\lambda}_y : 0.56$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.96$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : 0.70$$

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

$$\bar{\lambda}_0 : 0.70$$

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

$$W_{el,y} : 1376.43 \text{ cm}^3$$

$$W_{el,z} : 471.07 \text{ cm}^3$$

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

$$N_{cr,y} : 11522.00 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : 3943.31 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} : 9345.71 \text{ kN}$$

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

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

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : 143.70 \text{ cm}^4$$

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

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

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

$$0.29 \text{ kN} \leq 799.62 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,y} : 0.29 \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,y} : 1599.23 \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (EAE 2011, Artículo 34.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta < 0.001 \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.

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

$$M_{T,Ed} : 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} : 12.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : 79.83 \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27)
 γ_{mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 275.00 MPa
 γ_{mo} : 1.05

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

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

V_{Ed} : 0.29 kN

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

$M_{T,Ed}$: 0.01 kN·m

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

$V_{pl,T,Rd}$: 1599.23 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.
 $\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$V_{pl,Rd}$: 1599.51 kN
 $\tau_{T,Ed}$: 0.06 MPa

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

W_T : 79.83 cm³
 f_{yd} : 261.90 MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27)
 γ_{mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 275.00 MPa
 γ_{mo} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

η : 0.475 ✓

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

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

V_{Ed} : 211.21 kN

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

$M_{T,Ed}$: 0.01 kN·m

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

$V_{pl,T,Rd}$: 444.48 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.
 $\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$V_{pl,Rd}$: 444.56 kN
 $\tau_{T,Ed}$: 0.06 MPa

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.
 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

W_T : 79.83 cm³
 f_{yd} : 261.90 MPa

Siendo:

f_y : Límite elástico. (EAE 2011, Artículo 27)
 γ_{mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

f_y : 275.00 MPa
 γ_{mo} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

η < 0.001 ✓

2.5. Comprobaciones y dimensionamiento de uniones

Para el dimensionamiento de las uniones se ha utilizado el módulo de CYPE-Connect, ya que el CYPECad no calcula las uniones de perfiles metálicos salvo los más básicos que no necesitan rigidizadores. El procedimiento consiste en elegir el tipo de unión que queremos calcular, configurar la disposición de las barras (relación de nudos, descripción de perfil, ángulos o giros, etc) e introducir las cargas sobre el nudo.

Las especificaciones de las uniones soldadas, atornilladas y las comprobaciones de placas de anclaje se han descrito anteriormente en el Apartado 7 de la Parte 2 del presente Anejo Nº 11.

A continuación, se comprobarán y dimensionarán las uniones de la estructura metálica, proporcionando además una vista 3D para cada una de ellas para ayudar a clarificar la unión. Se dividen en dos grupos, uniones del pórtico tipo de la grada superior y de la grada inferior.

2.5.1. Uniones pórtico tipo grada superior

2.5.1.1. Unión pilar – pilar hormigón

1) Pilar HE 320 M

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

σ_⊥: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

τ_⊥: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

τ_{||}: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

γ_{M2} : 1.25

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa		15	1536	21.0	90.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm²)	τ _⊥ (N/mm²)	τ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa		La comprobación no procede.				430.0	0.85		

2) Placa de anclaje

Referencia: -Placa base: Ancho X: 650 mm Ancho Y: 700 mm Espesor: 25 mm -Pernos: 4Ø32 mm L=110 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(200x30x12.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: 3 diámetros	Mínimo: 96 mm Calculado: 510 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: 2 diámetros	Mínimo: 64 mm Calculado: 89 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: 2 diámetros	Mínimo: 64 mm Calculado: 70 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 37.9	Cumple
Longitud mínima del perno: Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.	Mínimo: 41 cm Calculado: 110 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 339.77 kN Calculado: 225.13 kN Máximo: 237.84 kN Calculado: 71.06 kN Máximo: 339.77 kN Calculado: 326.64 kN	Cumple Cumple Cumple

Referencia:		
-Placa base: Ancho X: 650 mm Ancho Y: 700 mm Espesor: 25 mm		
-Pernos: 4Ø32 mm L=110 cm Prolongación recta		
-Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada		
-Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(200x30x12.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 255.69 kN Calculado: 225.13 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 327.614 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 419.05 kN Calculado: 71.06 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
- Derecha:	Calculado: 100.577 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 100.5 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 256.208 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 134.84 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 61770.3	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 61770.3	Cumple
- Arriba:	Calculado: 3985.83	Cumple
- Abajo:	Calculado: 8494.39	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.21		

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min} , siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

$\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

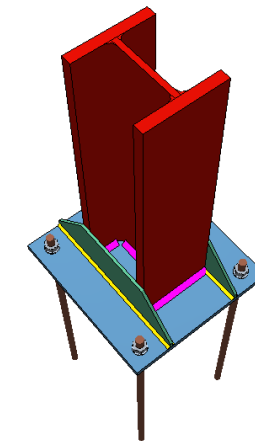
f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

$\gamma_{M2} : 1.25$

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Rigidizador y-y (x = -161): Soldadura a la placa base	En ángulo	8	700	12.0	90.00				
Rigidizador y-y (x = 161): Soldadura a la placa base	En ángulo	8	700	12.0	90.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -161): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						430.0	0.85	
Rigidizador y-y (x = 161): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						430.0	0.85	



2.5.1.2. Unión viga inclinada - pilar

1) Pilar HE 320 M

- Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$13.29 \leq 63.78 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

t_{wc} : Espesor del alma.

$$d_{wc} : \underline{279} \text{ mm}$$

$$t_{wc} : \underline{21.0} \text{ mm}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

f_y : Límite elástico del acero.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$1460.61 \text{ kN} \leq 1947.48 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Ed} : \underline{1460.61} \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} : \underline{1947.48} \text{ kN}$$

Donde:

A_{vc} : Área sometida a cortante

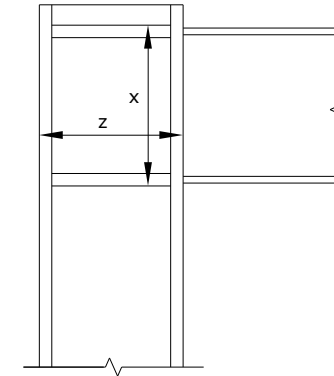
f_y : Límite elástico del acero.

γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

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

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	15078	1461.89	2051.96	71.24
x	14310	1460.61	1947.48	75.00



- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$236.40 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-236.40} \text{ N/mm}^2$$

F_L : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_L : \underline{-587.68} \text{ kN}$$

L_L : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_L : \underline{113} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

F_{II} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{II} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{II} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{II} : \underline{113} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{22.0} \text{ mm}$$

f_y : Límite elástico del acero.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

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

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$148.58 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{148.58} \text{ N/mm}^2$$

F_L : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_L : \underline{369.37} \text{ kN}$$

L_I : Anchura efectiva para esfuerzos normales
 τ : Tensión tangencial

$$L_I : \frac{113}{0.00} \text{ mm}$$

F_{II} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección
 L_{II} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales
 t : Espesor
 f_y : Límite elástico del acero.
 γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

$$F_{II} : \frac{0.00}{113} \text{ kN}$$

$$L_{II} : \frac{113}{22.0} \text{ mm}$$

$$t : \frac{22.0}{275.00} \text{ mm}$$

$$f_y : \frac{275.00}{1.05} \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{mo} : \frac{1.05}{}$$

- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$236.40 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : -236.40 \text{ N/mm}^2$$

F_I : Esfuerzo de cálculo normal de la sección
 L_I : Anchura efectiva para esfuerzos normales
 τ : Tensión tangencial

$$F_I : \frac{-587.68}{113} \text{ kN}$$

$$L_I : \frac{113}{0.00} \text{ mm}$$

$$\tau : \frac{0.00}{}$$

F_{II} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección
 L_{II} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales
 t : Espesor
 f_y : Límite elástico del acero.
 γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

$$F_{II} : \frac{0.00}{113} \text{ kN}$$

$$L_{II} : \frac{113}{22.0} \text{ mm}$$

$$t : \frac{22.0}{275.00} \text{ mm}$$

$$f_y : \frac{275.00}{1.05} \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{mo} : \frac{1.05}{}$$

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$148.58 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : 148.58 \text{ N/mm}^2$$

F_I : Esfuerzo de cálculo normal de la sección
 L_I : Anchura efectiva para esfuerzos normales
 τ : Tensión tangencial

$$F_I : \frac{369.37}{113} \text{ kN}$$

$$L_I : \frac{113}{0.00} \text{ mm}$$

$$\tau : \frac{0.00}{}$$

F_{II} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección
 L_{II} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales
 t : Espesor
 f_y : Límite elástico del acero.
 γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

$$F_{II} : \frac{0.00}{113} \text{ kN}$$

$$L_{II} : \frac{113}{22.0} \text{ mm}$$

$$t : \frac{22.0}{275.00} \text{ mm}$$

$$f_y : \frac{275.00}{1.05} \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{mo} : \frac{1.05}{}$$

- Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

La comprobación no procede.

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min} , siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

σ_I : Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

τ_I : Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

τ_{II} : Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.



γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

γ_{M2} : 1.25

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	10	113	22.0	70.00				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	9	243	21.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	10	113	22.0	70.00				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	9	243	21.0	90.00				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	10	113	22.0	70.00				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	9	243	21.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	10	113	22.0	70.00				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	9	243	21.0	90.00				
Soldadura de la chapa de refuerzo al alma	En ángulo	15	868	21.0	90.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	149.1	213.0	0.0	398.0	98.33	149.2	48.18	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	143.0	247.7	61.21	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	93.7	133.9	0.0	250.1	61.80	93.7	30.28	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	89.9	155.7	38.47	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	149.1	213.0	0.0	398.0	98.33	149.2	48.18	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	143.0	247.7	61.21	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	93.7	133.9	0.0	250.1	61.80	93.7	30.28	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	89.9	155.7	38.47	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa de refuerzo al alma	La comprobación no procede.							430.0	0.85

2) Viga HE 320 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min} , siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

$\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

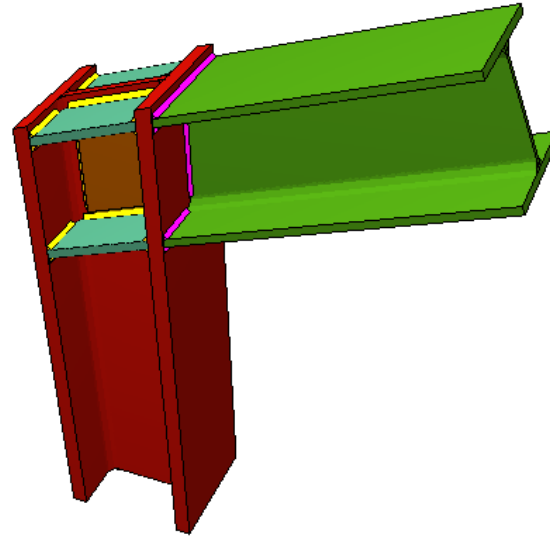
f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

γ_{M2} : 1.25

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	10	300	20.5	70.00				
Soldadura del alma	En ángulo	6	239	11.5	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	10	300	20.5	70.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	129.1	184.3	0.0	344.4	85.10	218.0	70.40	430.0	0.85
Soldadura del alma	137.5	137.5	40.3	283.7	70.10	137.5	44.41	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	106.7	152.4	0.0	284.6	70.33	127.6	41.20	430.0	0.85



2.5.1.3. Unión viga inclinada – viga horizontal superior

1) Chapa frontal

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

2) Viga (a) HE 320 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a $0,7 t_{min}$, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

$\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{\parallel}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. $\gamma_{M2} : 1.25$

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	10	300	20.5	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	6	225	11.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	10	300	20.5	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm ²)	$\tau_{\perp}$ (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	113.3	113.3	0.0	226.7	56.01	113.3	36.61	430.0	0.85
Soldadura del alma	111.5	111.5	0.0	223.1	55.12	111.6	36.03	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	113.3	113.3	0.0	226.7	56.01	113.3	36.61	430.0	0.85

3) Viga (b) HE 320 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min} , siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

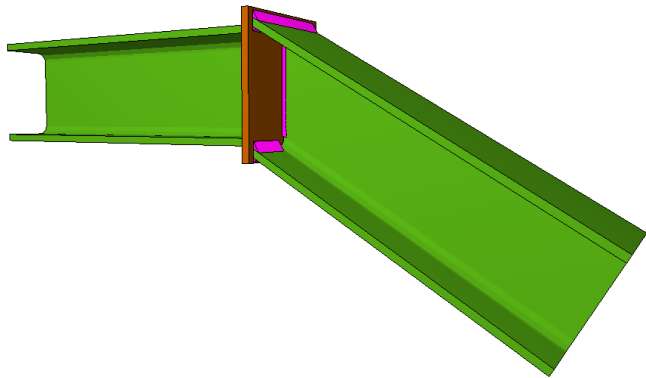
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

- $\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.
- $\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.
- $\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.
- f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.
- β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.
- γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción. $\gamma_{M2} : 1.25$

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	10	300	20.5	60.10
Soldadura del alma	En ángulo	6	260	11.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	10	300	20.5	60.10
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm ²)	$\tau_{\perp}$ (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	76.6	132.4	0.0	241.9	59.76	132.5	42.78	430.0	0.85
Soldadura del alma	108.2	108.2	0.0	216.4	53.47	108.2	34.95	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	76.6	132.4	0.0	241.9	59.76	132.5	42.78	430.0	0.85



2.5.1.4. Unión viga horizontal superior – rigidizador pilar

1) Chapa frontal

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

2) Viga HE 320 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min} , siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

$\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

$\gamma_{M2} : 1.25$

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	10	300	18.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	6	225	11.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	10	300	18.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm ²)	$\tau_{\perp}$ (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	113.3	113.3	0.0	226.7	56.01	113.3	36.61	430.0	0.85
Soldadura del alma	66.0	66.0	55.1	163.0	40.27	77.3	24.96	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	113.3	113.3	0.0	226.7	56.01	113.3	36.61	430.0	0.85

3) Viga HE 260 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min} , siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

$\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

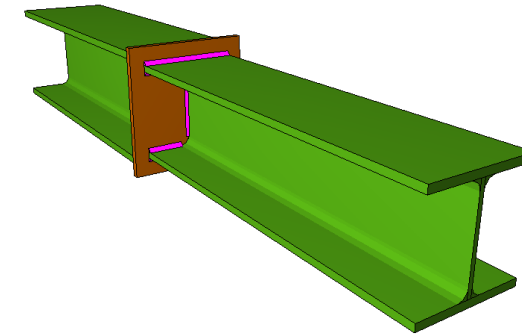
f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

$$\gamma_{M2} : 1.25$$

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	260	17.5	90.00				
Soldadura del alma	En ángulo	5	177	10.0	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	260	17.5	90.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	121.3	121.3	0.0	242.6	59.94	121.3	39.18	430.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	96.2	166.7	41.19	80.1	25.88	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	121.3	121.3	0.0	242.6	59.94	121.3	39.18	430.0	0.85



2.5.1.5. Unión rigidizador frontal pilar-pilar, viga apoyo vigueta – pilar

1) Pilar HE 280 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$23.24 \leq 63.78 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

t_{wc} : Espesor del alma.

$$d_{wc} : 244 \text{ mm}$$

$$t_{wc} : 10.5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon : 0.92$$

f_y : Límite elástico del acero.

f_y : 275.00 N/mm²

t : Espesor

t : 18.0 mm

f_y : Límite elástico del acero.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

γ_{mo} : 1.05

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

La comprobación no procede.

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$51.90 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

σ : 0.00 N/mm²

$F_{\perp}$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$F_{\perp}$: 0.00 kN

$L_{\perp}$: Anchura efectiva para esfuerzos normales

$L_{\perp}$: 111 mm

τ : Tensión tangencial

τ : -29.97 N/mm²

$F_{\parallel}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$F_{\parallel}$: -59.74 kN

$L_{\parallel}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$L_{\parallel}$: 111 mm

t : Espesor

t : 18.0 mm

f_y : Límite elástico del acero.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

γ_{mo} : 1.05

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$51.90 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

σ : 0.00 N/mm²

$F_{\perp}$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$F_{\perp}$: 0.00 kN

$L_{\perp}$: Anchura efectiva para esfuerzos normales

$L_{\perp}$: 111 mm

τ : Tensión tangencial

τ : 29.97 N/mm²

$F_{\parallel}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$F_{\parallel}$: 59.74 kN

$L_{\parallel}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$L_{\parallel}$: 111 mm

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$45.17 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

σ : 0.00 N/mm²

$F_{\perp}$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$F_{\perp}$: 0.00 kN

$L_{\perp}$: Anchura efectiva para esfuerzos normales

$L_{\perp}$: 111 mm

τ : Tensión tangencial

τ : -26.08 N/mm²

$F_{\parallel}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$F_{\parallel}$: -51.99 kN

$L_{\parallel}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$L_{\parallel}$: 111 mm

t : Espesor

t : 18.0 mm

f_y : Límite elástico del acero.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

γ_{mo} : 1.05

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$45.17 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

σ : 0.00 N/mm²

$F_{\perp}$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$F_{\perp}$: 0.00 kN

$L_{\perp}$: Anchura efectiva para esfuerzos normales

$L_{\perp}$: 111 mm

τ : Tensión tangencial

τ : 26.08 N/mm²

$F_{\parallel}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$F_{\parallel}$: 51.99 kN

$L_{\parallel}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$L_{\parallel}$: 111 mm

t : Espesor

t : 18.0 mm

f_y : Límite elástico del acero. $f_y : 275.00$ N/mm²
 γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. $\gamma_{mo} : 1.05$

– Chapa frontal [Viga (c) HE 260 B]

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

– Chapa vertical [Viga (c) HE 260 B]

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$119.48 \text{ kN} \leq 308.47 \text{ kN} \checkmark$$

Donde:

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo. $V_{Ed} : 119.48$ kN
 $V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante $V_{pl,Rd}$. $V_{c,Rd} : 308.47$ kN

Donde:

A_v : Área sometida a cortante $A_v : 2040$ mm²
 f_y : Límite elástico del acero. $f_y : 275.00$ N/mm²
 γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. $\gamma_{mo} : 1.05$

– Chapa frontal [Viga (b) HE 260 B]

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

– Chapa vertical [Viga (b) HE 260 B]

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$103.98 \text{ kN} \leq 308.47 \text{ kN} \checkmark$$

Donde:

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo. $V_{Ed} : 103.98$ kN
 $V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante $V_{pl,Rd}$. $V_{c,Rd} : 308.47$ kN

Donde:

A_v : Área sometida a cortante $A_v : 2040$ mm²
 f_y : Límite elástico del acero. $f_y : 275.00$ N/mm²
 γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. $\gamma_{mo} : 1.05$

– Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$25.95 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal $\sigma : 0.00$ N/mm²
 τ : Tensión tangencial $\tau : 14.98$ N/mm²
 f_y : Límite elástico del acero. $f_y : 275.00$ N/mm²
 γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. $\gamma_{mo} : 1.05$

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

57.59 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

- σ: Tensión normal σ : 0.00 N/mm²
- τ: Tensión tangencial τ : 33.25 N/mm²
- f_y: Límite elástico del acero. f_y : 275.00 N/mm²
- γ_{Mo}: Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales. γ_{Mo} : 1.05

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

- σ_⊥: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.
- τ_⊥: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.
- τ_{||}: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.
- f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.
- β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.
- γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

γ_{M2} : 1.25

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	111	18.0	90.00				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00				
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	8	295	18.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	111	18.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	8	295	18.0	90.00				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	8	111	18.0	90.00				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00				
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	En ángulo	8	295	18.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	8	111	18.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	En ángulo	8	295	18.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	4	189	10.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	4	189	10.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	4	204	10.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	4	204	10.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al alma	En ángulo	4	189	10.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	En ángulo	4	189	10.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	En ángulo	4	204	10.0	90.00				
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	En ángulo	4	204	10.0	90.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm²)	τ _⊥ (N/mm²)	τ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.0	0.0	33.7	58.4	14.43	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	33.7	58.4	14.43	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	0.0	0.0	29.3	50.8	12.56	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a la chapa frontal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	0.0	0.0	29.3	50.8	12.56	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a la chapa frontal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	68.9	119.4	29.51	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	68.9	119.4	29.51	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	73.2	126.8	31.33	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	73.2	126.8	31.33	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al alma	0.0	0.0	60.0	103.9	25.68	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical a la chapa frontal	0.0	0.0	60.0	103.9	25.68	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador superior	0.0	0.0	63.7	110.4	27.27	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa vertical al rigidizador inferior	0.0	0.0	63.7	110.4	27.27	0.0	0.00	430.0	0.85

2) Viga (a) HE 260 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

σ_⊥: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

τ_⊥: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

τ_{||}: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{m2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

γ_{m2} : 1.25

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	260	17.5	90.00				
Soldadura del alma	En ángulo	5	177	10.0	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	260	17.5	90.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	96.2	166.7	41.19	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85

3) Viga (c) HE 260 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

- $\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.
- $\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.
- $\tau_{\parallel}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.
- f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.
- β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.
- γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

$$\gamma_{M2} : 1.25$$

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	260	17.5	90.00				
Soldadura del alma	En ángulo	5	177	10.0	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	260	17.5	90.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm²)	τ _⊥ (N/mm²)	τ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	96.2	166.7	41.19	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.00	430.0	0.85

4) Viga (b) HE 260 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min} , siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

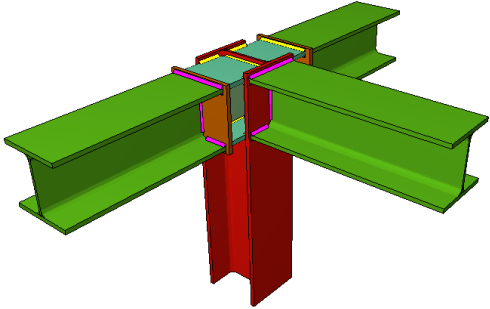
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

- $\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.
- $\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.
- $\tau_{\parallel}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.
- f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.
- β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.
- γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

$$\gamma_{M2} : 1.25$$

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	260	17.5	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	5	177	10.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	260	17.5	90.00
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas					



2.5.2. Uniones pórtico tipo grada inferior

2.5.2.1. Unión pilar – pilar hormigón

1) Pilar HE 280 M

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)
Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)
Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)
Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)
No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

$\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.
 $\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.
 $\tau_{\parallel}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.
 f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.
 β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.
 γ_{m2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

$\gamma_{m2} : 1.25$

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura perimetral a la placa		13	1411	18.0	90.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm²)	τ _⊥ (N/mm²)	τ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa		La comprobación no procede.						430.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia: -Placa base: Ancho X: 500 mm Ancho Y: 500 mm Espesor: 18 mm -Pernos: 4Ø20 mm L=65 cm Prolongación recta -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(150x45x7.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: 3 diámetros	Mínimo: 60 mm Calculado: 400 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: 2 diámetros	Mínimo: 40 mm Calculado: 49 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: 2 diámetros	Mínimo: 40 mm Calculado: 50 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 43.9	Cumple
Longitud mínima del perno: Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.	Mínimo: 25 cm Calculado: 65 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 125.48 kN Calculado: 71.28 kN Máximo: 87.84 kN Calculado: 37 kN Máximo: 125.48 kN Calculado: 124.14 kN	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 99.86 kN Calculado: 71.28 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 476.19 MPa Calculado: 318.548 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: Límite del cortante en un perno actuando contra la placa	Máximo: 188.57 kN Calculado: 37 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	

Referencia:		
-Placa base: Ancho X: 500 mm Ancho Y: 500 mm Espesor: 18 mm		
-Pernos: 4Ø20 mm L=65 cm Prolongación recta		
-Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada		
-Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(150x45x7.0)		
Comprobación	Valores	Estado
- Derecha:	Calculado: 74.5263 MPa	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 74.5263 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 177.143 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 58.2846 MPa	Cumple
Flecha global equivalente:	Mínimo: 250	
<i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>		
- Derecha:	Calculado: 20686.9	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 20686.9	Cumple
- Arriba:	Calculado: 9694.82	Cumple
- Abajo:	Calculado: 40309.9	Cumple
Tensión de Von Mises local:	Máximo: 261.905 MPa	
<i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>		
	Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.178		

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min} , siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

$\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{\parallel}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

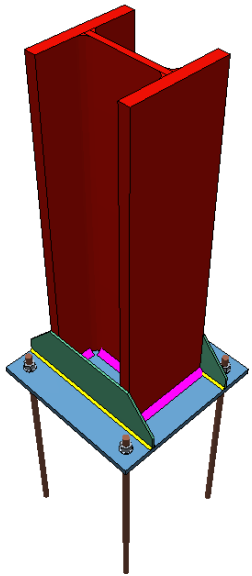
f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

$\gamma_{M2} : 1.25$

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Rigidizador y-y (x = -148): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	500	7.0	90.00				
Rigidizador y-y (x = 148): Soldadura a la placa base	En ángulo	5	500	7.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -148): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							430.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 148): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							430.0	0.85



2.5.2.2. Unión viga inclinada pilar

1) Pilar HE 280 M

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (EAE, 62.1.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$13.19 \leq 63.78 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \frac{244}{mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \frac{18.5}{mm}$$

$$\varepsilon : \frac{0.92}{mm}$$

f_y : Límite elástico del acero.

$$f_y : \frac{275.00}{N/mm^2}$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (EAE 62.1.4)

El valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} deberá cumplir para cualquier sección transversal:

$$877.99 \text{ kN} \leq 1494.56 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \frac{877.99}{kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \frac{1494.56}{kN}$$

Donde:

A_{vc} : Área sometida a cortante

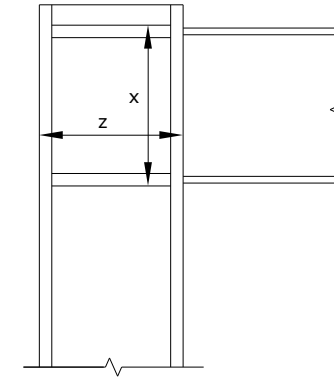
f_y : Límite elástico del acero.

$$f_y : \frac{275.00}{N/mm^2}$$

γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

$$\gamma_{mo} : \frac{1.05}{mm}$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	11470	872.28	1560.95	55.88
x	10982	877.99	1494.56	58.75



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$186.05 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \frac{-186.05}{N/mm^2}$$

F_L : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_L : \frac{-354.99}{kN}$$

L_L : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_L : \frac{106}{mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \frac{0.00}{N/mm^2}$$

F_{II} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{II} : \frac{0.00}{kN}$$

L_{II} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{II} : \frac{106}{mm}$$

t : Espesor

$$t : \frac{18.0}{mm}$$

f_y : Límite elástico del acero.

$$f_y : \frac{275.00}{N/mm^2}$$

γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

$$\gamma_{mo} : \frac{1.05}{mm}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$147.74 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \frac{147.74}{N/mm^2}$$

$F_{\perp}$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección
 $L_{\perp}$: Anchura efectiva para esfuerzos normales
 τ : Tensión tangencial

$F_{\perp}$: 281.89 kN
 $L_{\perp}$: 106 mm
 τ : 0.00 N/mm²

$F_{\parallel}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección
 $L_{\parallel}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales
 t : Espesor
 f_y : Límite elástico del acero.
 γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

$F_{\parallel}$: 0.00 kN
 $L_{\parallel}$: 106 mm
 t : 18.0 mm
 f_y : 275.00 N/mm²
 γ_{mo} : 1.05

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$186.05 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

σ : -186.05 N/mm²

$F_{\perp}$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección
 $L_{\perp}$: Anchura efectiva para esfuerzos normales
 τ : Tensión tangencial

$F_{\perp}$: -354.99 kN
 $L_{\perp}$: 106 mm
 τ : 0.00 N/mm²

$F_{\parallel}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección
 $L_{\parallel}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales
 t : Espesor
 f_y : Límite elástico del acero.
 γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

$F_{\parallel}$: 0.00 kN
 $L_{\parallel}$: 106 mm
 t : 18.0 mm
 f_y : 275.00 N/mm²
 γ_{mo} : 1.05

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (EAE, 34.1.1)

Debe cumplirse:

$$147.74 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

σ : 147.74 N/mm²

$F_{\perp}$: Esfuerzo de cálculo normal de la sección
 $L_{\perp}$: Anchura efectiva para esfuerzos normales
 τ : Tensión tangencial

$F_{\perp}$: 281.89 kN
 $L_{\perp}$: 106 mm
 τ : 0.00 N/mm²

$F_{\parallel}$: Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección
 $L_{\parallel}$: Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales
 t : Espesor
 f_y : Límite elástico del acero.
 γ_{mo} : Coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales.

$F_{\parallel}$: 0.00 kN
 $L_{\parallel}$: 106 mm
 t : 18.0 mm
 f_y : 275.00 N/mm²
 γ_{mo} : 1.05

– Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (EAE, 34.1.1)

La comprobación no procede.

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 $t_{\min}$, siendo $t_{\min}$ el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

- $\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.
 $\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.
 $\tau_{\parallel}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.
 f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.
 β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.
 γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

γ_{M2} : 1.25

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	70.00				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	8	212	18.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	70.00				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	8	212	18.0	90.00				
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	70.00				
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	8	212	18.0	90.00				
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	9	106	18.0	70.00				
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	8	212	18.0	90.00				
Soldadura de la chapa de refuerzo al alma	En ángulo	13	758	18.5	90.00				
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm²)	τ _⊥ (N/mm²)	τ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	106.7	152.4	0.0	284.7	70.35	106.7	34.47	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	111.5	193.2	47.74	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	84.7	121.0	0.0	226.1	55.87	84.7	27.37	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	88.6	153.4	37.91	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	106.7	152.4	0.0	284.7	70.35	106.7	34.47	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	111.5	193.2	47.74	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	84.7	121.0	0.0	226.1	55.87	84.7	27.37	430.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	88.6	153.4	37.91	0.0	0.00	430.0	0.85
Soldadura de la chapa de refuerzo al alma	La comprobación no procede.							430.0	0.85

2) Viga HE 280 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min} , siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

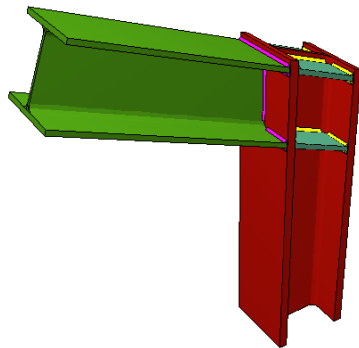
Donde:

- $\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.
 $\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.
 $\tau_{\parallel}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.
 f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.
 β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.
 γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

γ_{M2} : 1.25

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	70.00
Soldadura del alma	En ángulo	5	209	10.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	70.00
<i>a</i> : Espesor garganta <i>l</i> : Longitud efectiva <i>t</i> : Espesor de piezas					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	$\sigma_{\perp}$ (N/mm ²)	$\tau_{\perp}$ (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	$\sigma_{\perp}$ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	158.6	111.1	0.0	249.3	61.60	158.6	51.23	430.0	0.85
Soldadura del alma	96.7	96.7	139.1	309.0	76.34	109.5	35.36	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	92.5	132.1	0.0	246.9	60.99	126.8	40.97	430.0	0.85



2.5.2.3. Unión viga inclinada – viga horizontal superior

1) Chapa frontal

Momento Flector (EAE, 34.4)

La comprobación no procede.

Esfuerzo cortante (EAE 34.5)

La comprobación no procede.

Flexión y cortante (EAE 34.7.1)

La comprobación no procede.

Giro admisible de la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

2) Viga (a) HE 280 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min} , siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

$\sigma_{\perp}$: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.

$\tau_{\perp}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.

$\tau_{||}$: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.

f_u : Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.

β_w : factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.

γ_{M2} : Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

$\gamma_{M2} : 1.25$

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	5	196	10.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm²)	τ _⊥ (N/mm²)	τ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	110.5	110.5	0.0	221.1	54.62	110.5	35.70	430.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	95.2	164.9	40.74	75.0	24.21	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	110.5	110.5	0.0	221.1	54.62	110.5	35.70	430.0	0.85

3) Viga (b) HE 280 B

Cordones de soldadura

Generalidades (EAE 59.1.)

Las soldaduras amparadas por esta Instrucción deberán efectuarse sobre piezas de al menos 4 mm de espesor.

Generalidades (EAE 59.3.1.)

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Espesor de garganta (EAE 59.3.2.)

Salvo lo dispuesto para uniones entre piezas de sección tubular o secciones en cajón no accesibles interiormente, el espesor de garganta a de un cordón en ángulo no será superior a 0,7 t_{min}, siendo t_{min} el espesor de la pieza más delgada a unir.

El espesor de garganta a de un cordón en ángulo, apartado 59.7, no debe ser inferior a 3 mm cuando se deposite en chapas de hasta 10 mm de espesor, ni inferior a 4,5 mm cuando se deposite sobre piezas de hasta 20 mm de espesor, ni inferior a 5,6 mm cuando se deposite sobre piezas de más de 20 mm de espesor, a menos que el procedimiento de soldadura contemple espesores de garganta menores.

Longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo (EAE 59.8.1)

No se considerarán efectivos para transmitir esfuerzos aquellos cordones con longitudes inferiores a 30 mm o a 6 veces el espesor de garganta.

Resistencia (EAE 59.8.2)

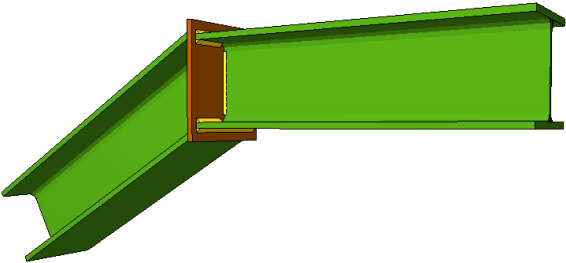
La resistencia del cordón es suficiente si se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Donde:

- σ_⊥: Tensión normal que actúa sobre el plano de garganta del cordón.
- τ_⊥: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.
- τ_{||}: Tensión tangencial que actúa sobre el plano de garganta en dirección paralela al plano del cordón.
- f_u: Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.
- β_w: factor de correlación, que depende del tipo de acero de las piezas a soldar.
- γ_{M2}: Coeficiente parcial para la resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.

γ_{M2} : 1.25

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	9	280	18.0	60.10				
Soldadura del alma	En ángulo	5	226	10.5	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	9	280	18.0	60.10				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm²)	τ _⊥ (N/mm²)	τ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	67.3	116.4	0.0	212.5	52.51	95.5	30.85	430.0	0.85
Soldadura del alma	0.0	0.0	82.5	142.9	35.32	64.7	20.91	430.0	0.85
Soldadura del ala inferior	55.2	95.5	0.0	174.4	43.09	116.4	37.59	430.0	0.85



2.6. Comprobaciones y dimensionamiento de escaleras

En primer lugar, se realizará una descripción de las diferentes escaleras y se indicará su posición en la estructura. Todas son de hormigón armado, con peldaño hormigonado a la vez que la losa.

- Escalera principal que comunica la planta baja y la primera planta del edificio auxiliar. Esta también continua hasta el segundo sótano del aparcamiento, habiéndose dimensionado estos tramos en la Parte 3 de este Anejo.
- Escalera que comunica la planta baja y el gimnasio del edificio auxiliar.
- Escalera que comunica la primera planta del edificio auxiliar con la grada superior de la segunda planta del edificio principal.
- Escalera que comunica la primera planta del edificio principal con la segunda, para permitir el acceso entre ambas gradas.

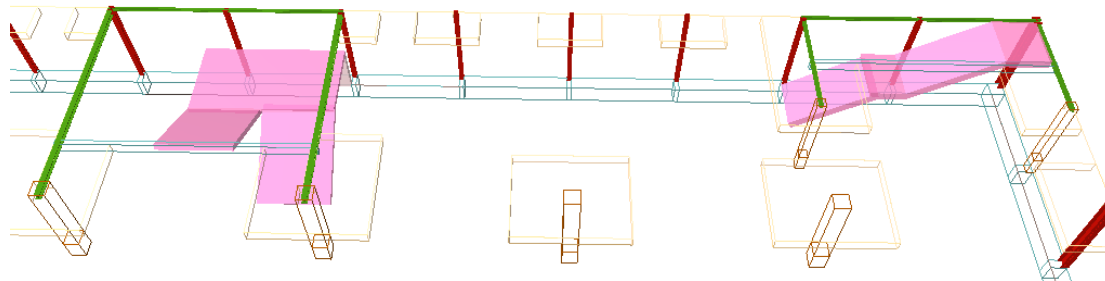


Imagen 10 – Escaleras del edificio auxiliar, principal a la izquierda y acceso al gimnasio a la derecha. Fuente: Propia

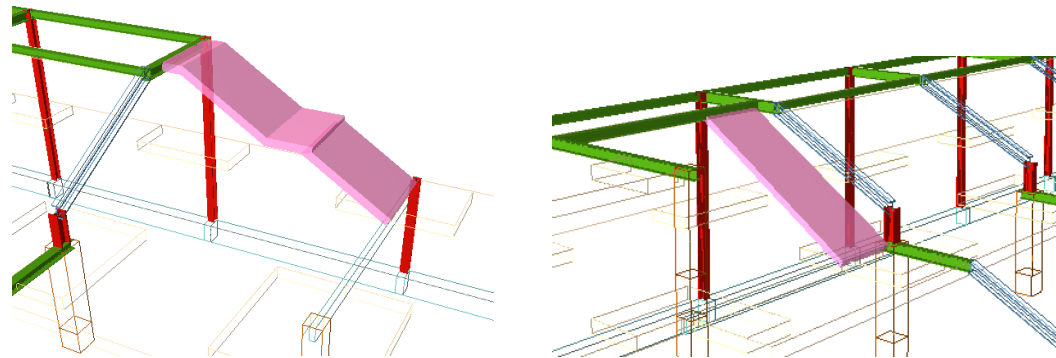


Imagen 10 – Escaleras del edificio principal, acceso a grada superior desde el edificio auxiliar a la izquierda y comunicación entre gradas a la derecha. Fuente: Propia

A continuación, se proporcionará las características de cada escalera (geometría, acciones consideradas, etc.) y el armado propuesto para cada una de ellas, así como las reacciones en sus apoyos.

2.6.1. Escalera principal del edificio auxiliar

Geometría

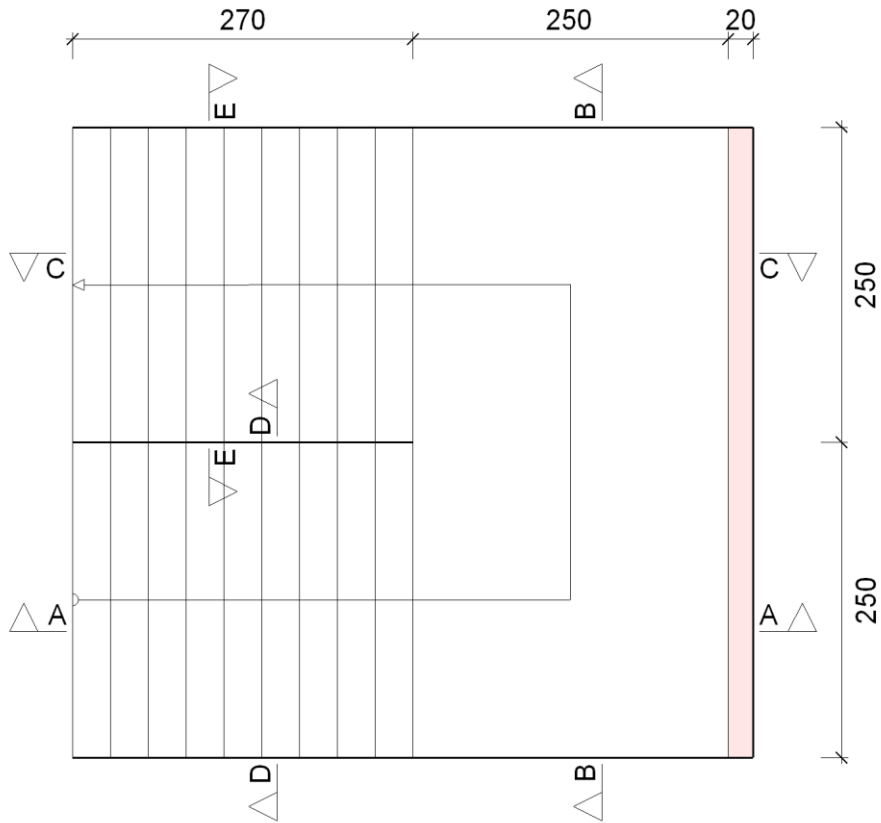
- Ámbito: 2.500 m
- Huella: 0.300 m
- Contrahuella: 0.175 m
- Peldaño: Hormigonado con la losa

Cargas

- Peso propio: 4.66 kN/m²
- Peldaño: 1.85 kN/m²
- Barandillas: 1.00 kN/m
- Solado: 1.00 kN/m²
- Sobrecarga de uso: 5.00 kN/m²

Tramos

- Planta final: Forjado 1
- Planta inicial: Cimentación
- Espesor: 0.19 m
- Huella: 0.300 m
- Contrahuella: 0.175 m
- Nº de escalones: 20
- Desnivel que salva: 3.50 m
- Apoyo de las mesetas: Muro de hormigón (Ancho: 0.20 m)



2.6.2. Escalera de acceso al gimnasio

Geometría

- Ámbito: 1.800 m
- Huella: 0.280 m
- Contrahuella: 0.175 m
- Peldañeado: Hormigonado con la losa

Cargas

- Peso propio: 7.36 kN/m²
- Peldañeado: 1.82 kN/m²
- Barandillas: 1.00 kN/m
- Solado: 1.00 kN/m²
- Sobrecarga de uso: 5.00 kN/m²

Tramos

- Planta final: Forjado 1
- Planta inicial: Cimentación
- Espesor: 0.30 m
- Huella: 0.280 m
- Contrahuella: 0.175 m
- Nº de escalones: 20
- Desnivel que salva: 3.50 m
- Meseta sin apoyos

Resultados

Armadura			
Sección	Tipo	Superior	Inferior
A-A	Longitudinal	Ø10c/20	Ø16c/20
B-B	Longitudinal	Ø10c/20	Ø16c/20
C-C	Longitudinal	Ø10c/20	Ø16c/20
D-D	Transversal	Ø8c/20	Ø8c/20
E-E	Transversal	Ø8c/20	Ø8c/20

Reacciones (kN/m)			
Posición	Peso propio	Cargas muertas	Sobrecarga de uso
Arranque	17.7	10.9	17.2
Meseta	30.1	3.7	9.0
Entrega	17.6	10.9	17.1

2.6.3. Escalera acceso a grada superior desde edificio auxiliar

Geometría

- Ámbito: 2.600 m
- Huella: 0.280 m
- Contrahuella: 0.175 m
- Peldañeado: Hormigonado con la losa

Cargas

- Peso propio: 6.87 kN/m²
- Peldañeado: 1.82 kN/m²
- Barandillas: 1.00 kN/m
- Solado: 1.00 kN/m²
- Sobrecarga de uso: 5.00 kN/m²

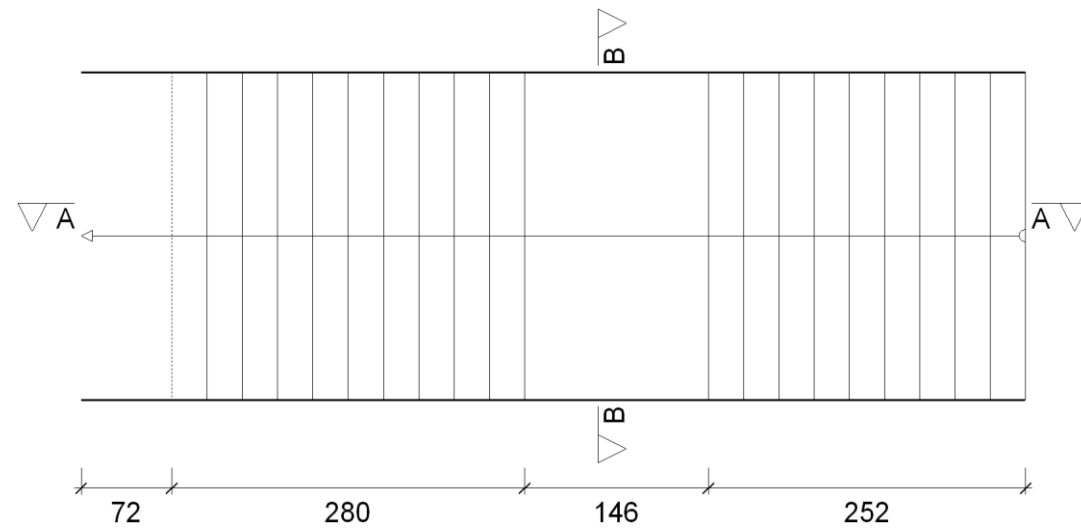
Tramos

- Planta final: Forjado 2
- Planta inicial: Forjado 1
- Espesor: 0.28 m
- Huella: 0.280 m
- Contrahuella: 0.175 m
- Nº de escalones: 20
- Desnivel que salva: 3.50 m
- Meseta sin apoyos

Resultados

Armadura			
Sección	Tipo	Superior	Inferior
A-A	Longitudinal	Ø10c/20	Ø16c/10
B-B	Transversal	Ø8c/15	Ø8c/15

Reacciones (kN/m)			
Posición	Peso propio	Cargas muertas	Sobrecarga de uso
Arranque	43.1	18.2	26.1
Entrega	23.1	9.3	14.1



2.6.4. Escalera de comunicación entre gradas superior e inferior

Geometría

- Ámbito: 2.000 m
- Huella: 0.280 m
- Contrahuella: 0.175 m
- Peldañeado: Hormigonado con la losa

Cargas

- Peso propio: 5.15 kN/m²
- Peldañeado: 1.82 kN/m²
- Barandillas: 1.00 kN/m
- Solado: 1.00 kN/m²
- Sobrecarga de uso: 5.00 kN/m²

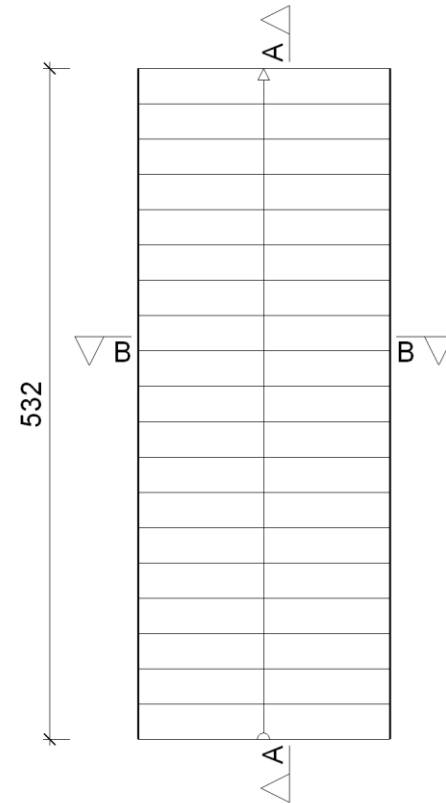
Tramos

- Planta final: Forjado 2
- Planta inicial: Forjado 1
- Espesor: 0.21 m
- Huella: 0.280 m
- Contrahuella: 0.175 m
- Nº de escalones: 20
- Desnivel que salva: 3.50 m
- Apoyo de las mesetas: Muro de fábrica (Ancho: 0.20 m)

Resultados

Armadura			
Sección	Tipo	Superior	Inferior
A-A	Longitudinal	Ø10c/20	Ø16c/10
B-B	Transversal	Ø10c/20	Ø10c/20

Reacciones (kN/m)			
Posición	Peso propio	Cargas muertas	Sobrecarga de uso
Arranque	33.5	14.5	21.6
Entrega	24.6	10.6	15.9



2.7. Comprobaciones y dimensionamiento de los forjados

Como se ha explicado al principio de esta parte del anejo, se ha elegido disponer un forjado reticular en toda la primera planta tanto del edificio auxiliar como del edificio principal que contiene las gradas y la piscina, mientras que en la segunda planta se utiliza forjado reticular y forjado de viguetas armadas.

El cálculo y dimensionamiento del armado de estos forjados se ha realizado con el programa CYPECAD como hasta ahora, aunque el procedimiento es diferente al que se realiza para las comprobaciones de pilares y vigas, debido a la añadida complejidad al tratarse de elementos bidireccionales.

Una de las ventajas del cálculo mediante un programa comercial es que permite la elección de un forjado de catálogo con el cual realizar el cálculo, evitando de esta manera que se tenga que definir uno, tanto en el caso de forjado reticulares como en el de viguetas.

2.7.1. Comprobación y dimensionamiento del forjado reticular

Los forjados reticulares pueden cubrir luces bastantes mayores que los unidireccionales, o lo que es lo mismo, salvar las mismas luces, pero con menor canto. Son especialmente recomendables cuando los pilares que los soportan forman una retícula más o menos regular, con luces parecidas en ambas direcciones principales.

Basan su resistencia en la redistribución de cargas a través de nervios cruzados, distribuidos ortogonalmente en ambas direcciones principales, creando una retícula de cuadrados en los que se disponen elementos aligerantes, llamados casetones. Estos pueden ser recuperables, que son piezas de plástico (generalmente llamadas bañeras) que se retiran al desapuntalar y desencofrar el forjado, o no recuperables, que suelen ser de hormigón o poliestireno expandido (EPS), y quedan embebidos en el forjado.

Antes de realizar el cálculo es necesario definir el tipo de forjado reticular que se va a utilizar. Ya que se va a utilizar un forjado de catálogo, realizaremos un predimensionamiento a mano siguiendo las indicaciones de la EHE-08.

2.7.1.1. Predimensionamiento

El artículo 55.2 de la EHE-08, se refiere a las estructuras constituidas por placas macizas o aligeradas con nervios en dos direcciones perpendiculares, de hormigón armado, que no poseen, en general, vigas para transmitir las cargas a los apoyos y descansan directamente sobre soportes con o sin capitel.

El artículo recomienda que, para placas aligeradas de espesor constante, en las que incluye los forjados reticulares, el canto del forjado no sea inferior a $L/28$, siendo L la mayor dimensión del recuadro entre soportes.

En el caso de nuestro forjado, donde la mayor dimensión entre soportes es de 8,00 m, nos obligaría a utilizar un canto mayor de 28,5 mm. También nos dice que la separación entre ejes de nervios no puede superar los 100 cm y que el espesor de la capa superior no puede ser inferior a 5 cm, disponiendo en la misma una armadura de reparto en malla.

Se decide utilizar un forjado reticular de 35 mm de canto, con una capa de compresión de 5 cm, con un intereje de 70 cm en ambas direcciones y un ancho de nervio de 10 cm, con aligeramientos de EPS. En el CYPECAD se ha elegido un forjado que utiliza el sistema Basenet® del fabricante Daliforma, que consiste en

Resultados

Armadura			
Sección	Tipo	Superior	Inferior
A-A	Longitudinal	Ø8c/15	Ø16c/15
B-B	Transversal	Ø8c/20	Ø8c/20

Reacciones (kN/m)			
Posición	Peso propio	Cargas muertas	Sobrecarga de uso
Arranque	16.2	11.4	13.3
Entrega	16.2	11.4	13.3

replantear bloques aligerantes de EPS en una plantilla de 60x60 cm de polipropileno, sujetándolos en posición durante el hormigonado y dotándolos de un recubrimiento.

Antes de realizar el cálculo, será necesario definir las zonas macizadas del forjado en las cercanías de los soportes, llamadas ábacos, que sirven para resistir los elevados cortantes y momentos negativos que se encuentran en estas secciones. En general se toma como anchura del ábaco una sexta parte de la luz entre pilares, en este caso serían de 1,33 m. En la práctica serán más anchos al estar trabajando con múltiplos de 0,60 m, el tamaño de los bloques aligerantes.

Una vez definido el forjado reticular, tanto el de gran superficie en la primera planta como el de menor superficie en la segunda, se puede proceder a realizar el cálculo. En esta imagen se muestra la disposición del forjado, distinguiéndose los ábacos en los soportes:

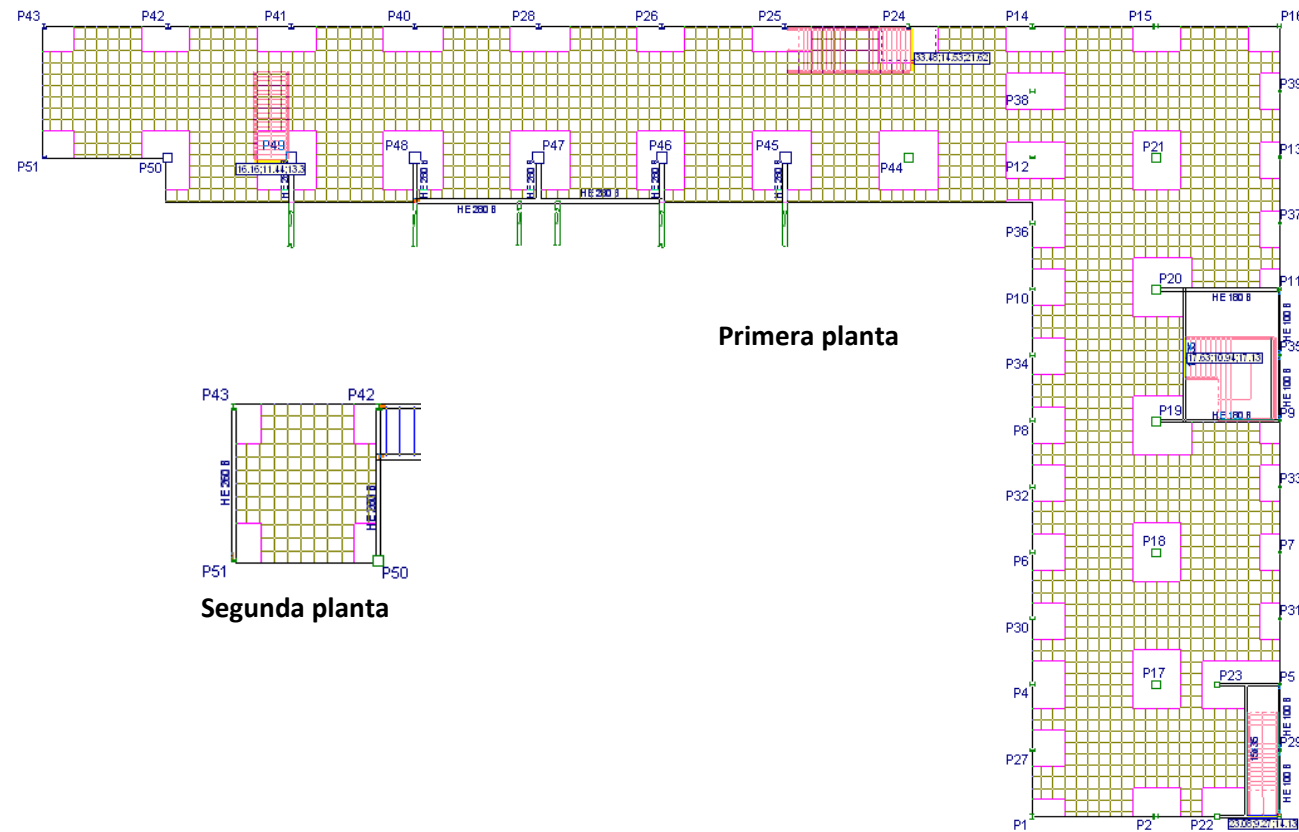


Imagen 11 – Disposición en planta del forjado reticular. Fuente: Propia

2.7.1.2. Dimensionamiento del armado

Una vez calculada la estructura, CYPECAD nos proporciona un armado para el forjado reticular, que es la que mostramos a continuación:

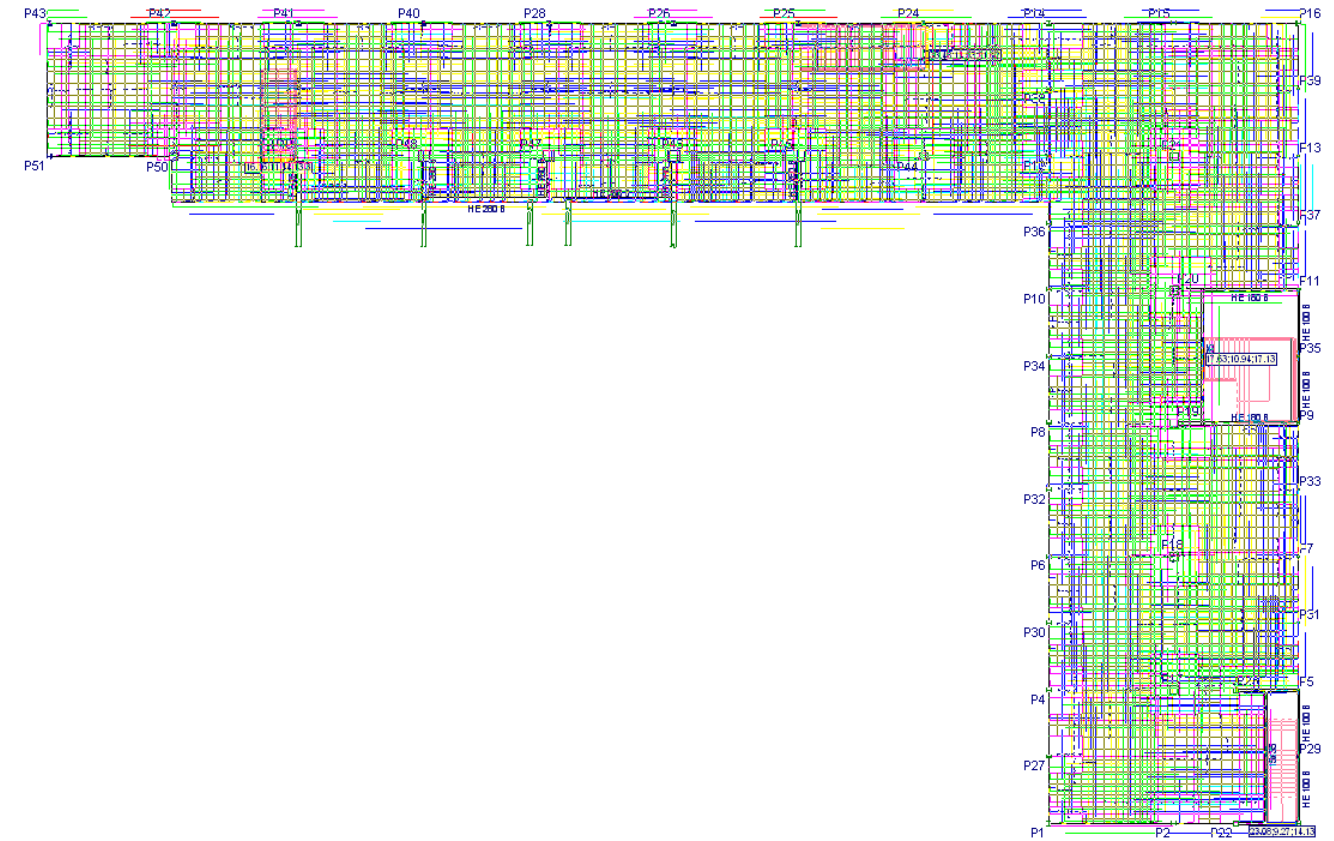


Imagen 12 – Disposición en planta del forjado reticular con primera propuesta de armadura. Fuente: Propia

En la imagen se observa que todos los nervios están armados, pero los que más son entre los “pórticos virtuales” que se forman entre soportes, siendo menor en las secciones centrales (en la imagen verde indica $\varnothing 16$, azul $\varnothing 20$ y rojo $\varnothing 25$).

En vista de estos resultados, analizando un poco la disposición de armado en las capas inferiores y superiores en ambas direcciones, y realizando varias combinaciones, se decide adoptar el siguiente armado base:

Superior	
☒ Longitudinal	1Ø16
☒ Transversal	1Ø16
Inferior	
☒ Longitudinal	1Ø20
☒ Transversal	1Ø20

Imagen 12 – Armadura base del forjado reticular. Fuente: Propia

Para los ábacos se adopta el siguiente armado base:

Superior

☒ Longitudinal 2Ø20

☒ Transversal 2Ø20

Inferior

☒ Longitudinal 2Ø8

☒ Transversal 2Ø8

Imagen 13 – Armadura base de los ábacos

Le pedimos a CYPECAD que nos vuelva a rearmar el forjado teniendo en cuenta esta armadura base. Los resultados de la misma se ven en la siguiente imagen:

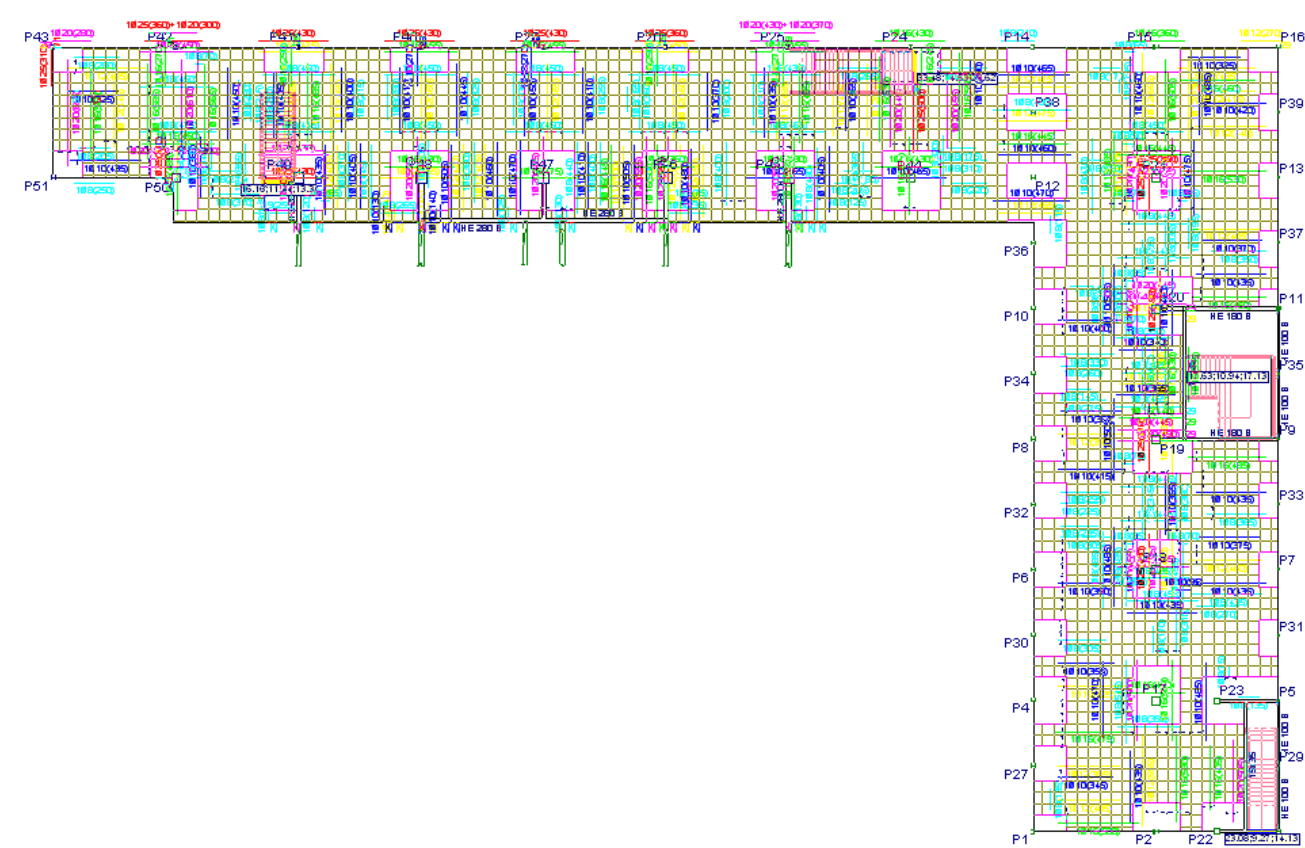


Imagen 14 – Disposición en planta de la armadura de refuerzo del forjado reticular y los ábacos. Fuente: Propia

Observamos que solo se necesita armadura de refuerzo prácticamente solo en estas llamadas “pórticos virtuales”, descritas anteriormente. Se acepta por tanto este armado, que se detallara en el Documento Nº2 – Planos, repartiéndose en cinco planos: uno para la armadura transversal superior, uno para la armadura longitudinal superior, uno para la armadura transversal inferior, uno para la armadura longitudinal inferior y finalmente uno para la armadura de solicitaciones tangenciales.

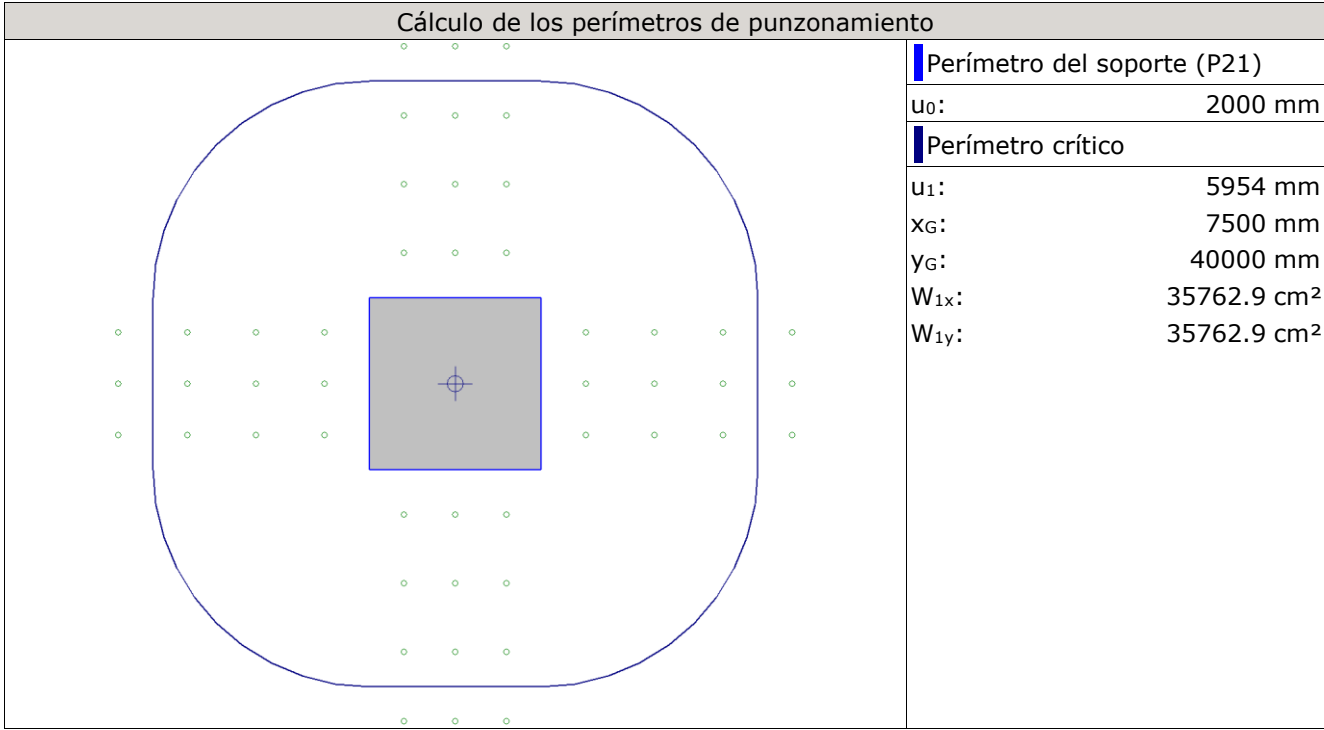
Punzonamiento

Al realizar el cálculo, el forjado reticular no ha cumplido la comprobación de punzonamiento en todos los soportes. Ya que no se quiere aumentar más el canto ni aumentar la resistencia del hormigón, tenemos dos opciones: descolgar los ábacos o disponer armadura de punzonamiento.

En este caso se opta por disponer armadura de punzonamiento. La unión entre los soportes de perfiles metálicos y el forjado reticular se resuelve mediante crucetas, y estas ya hacen la función de armadura de punzonamiento. En el caso de los soportes de hormigón que no cumplen sí se ha definido una armadura de punzonamiento. Se proporciona a continuación la comprobación del soporte más desfavorable:

Comprobación de puzonamiento del soporte P21

1.- DESCRIPCIÓN



2.- COMPROBACIONES

2.1.- Perímetro del soporte (P21)

2.1.1.- Zona adyacente al soporte o carga (Situaciones persistentes)

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM+1.5·Qa.
Se debe satisfacer:

$1.96 \text{ N/mm}^2 \leq 6.00 \text{ N/mm}^2$ ✓

Donde:

τ_{sd} : Tensión tangencial nominal de cálculo en el perímetro crítico.

$$\tau_{sd} : \underline{1.96} \text{ N/mm}^2$$

$\tau_{rd,max}$: Tensión máxima resistente a punzonamiento en el perímetro crítico.

$$\tau_{rd,max} : \underline{6.00} \text{ N/mm}^2$$

La tensión tangencial nominal de cálculo en el perímetro crítico se obtiene mediante la siguiente expresión (EHE-08, 46.4.3):

$$\tau_{sd} : \underline{1.96} \text{ N/mm}^2$$

Donde:

F_{sd} : Esfuerzo de punzonamiento de cálculo.

$$F_{sd} : \underline{1198.70} \text{ kN}$$

β : Coeficiente que tiene en cuenta los efectos de la excentricidad de la carga. Según EHE-08, comentarios al artículo 46.3, alternativamente puede utilizarse cualquier procedimiento que permita una evaluación más precisa de τ_{sd} , como el indicado en UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.4.3.

$$\beta : \underline{1.03}$$

k_x : Coeficiente que depende de la relación entre las dimensiones c_y (dimensión en la dirección del eje y) y c_x (dimensión en la dirección del eje x) del pilar (UNE-EN 1992-1-1:2010, Tabla 6.1).

$$k_x : \underline{0.60}$$

k_y : Coeficiente que depende de la relación entre las dimensiones c_x (dimensión en la dirección del eje x) y c_y (dimensión en la dirección del eje y) del pilar (UNE-EN 1992-1-1:2010, Tabla 6.1).

$$k_y : \underline{0.60}$$

M_{xd} : Momento de cálculo alrededor del eje x, respecto al centro de gravedad del perímetro crítico u_1 .

$$M_{xd} : \underline{-9.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{yd} : Momento de cálculo alrededor del eje y, respecto al centro de gravedad del perímetro crítico u_1 .

$$M_{yd} : \underline{23.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{xdp} : Momento de cálculo alrededor del eje x, respecto al centro de gravedad del pilar.

$$M_{xdp} : \underline{-9.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{ydp} : Momento de cálculo alrededor del eje y, respecto al centro de gravedad del pilar.

$$M_{ydp} : \underline{23.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

u_1 : Perímetro crítico de punzonamiento (EHE-08, 46.2).

$$u_1 : \underline{5954} \text{ mm}$$

$$W_{1x} : \underline{35762.9} \text{ cm}^2$$

dl : Elemento diferencial de longitud del perímetro crítico.

e_y : Distancia desde dl hasta el eje alrededor del cual actúa el momento M_{xd} .

$$W_{1y} : \underline{35762.9} \text{ cm}^2$$

e_x : Distancia desde dl hasta el eje alrededor del cual actúa el momento M_{yd} .

u_0 : Perímetro crítico de comprobación de la zona adyacente al soporte o carga (EHE-08, 46.4.3).

$$u_0 : \underline{2000} \text{ mm}$$

d : Canto útil de la losa.

$$d : \underline{315} \text{ mm}$$

La tensión máxima resistente a punzonamiento en el perímetro crítico se obtiene mediante la siguiente expresión (EHE-08, 46.4.3):

$$\tau_{rd,max} : \underline{6.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{1cd} : Resistencia a compresión del hormigón

$$f_{1cd} : \underline{12.00} \text{ N/mm}^2$$

Donde:

f_{ck} : Resistencia característica a compresión del hormigón.

$$f_{ck} : \underline{30.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : \underline{20.00} \text{ N/mm}^2$$

2.2.- Perímetro crítico (P21)

2.2.1.- Zona con armadura transversal de punzonamiento (Situaciones persistentes)

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM + 1.5 \cdot Q_a$.
Se debe satisfacer:

$$0.66 \text{ N/mm}^2 \leq 0.84 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Donde:

τ_{sd} : Tensión tangencial nominal de cálculo en el perímetro crítico.

$$\tau_{sd} : \underline{0.66} \text{ N/mm}^2$$

$\tau_{rd,cs}$: Tensión máxima resistente de una losa con armadura de punzonamiento en el perímetro crítico.

$$\tau_{rd,cs} : \underline{0.84} \text{ N/mm}^2$$

La tensión tangencial nominal de cálculo en el perímetro crítico se obtiene mediante la siguiente expresión (EHE-08, 46.3):

$$\tau_{sd} : \underline{0.66} \text{ N/mm}^2$$

Donde:

F_{sd} : Esfuerzo de punzonamiento de cálculo.

$$F_{sd} : \underline{1198.70} \text{ kN}$$

β : Coeficiente que tiene en cuenta los efectos de la excentricidad de la carga. Según EHE-08, comentarios al artículo 46.3, alternativamente puede utilizarse cualquier procedimiento que permita una evaluación más precisa de τ_{sd} , como el indicado en UNE-EN 1992-1-1:2010, 6.4.3.

$$\beta : \underline{1.03}$$

k_x : Coeficiente que depende de la relación entre las dimensiones c_y (dimensión en la dirección del eje y) y c_x (dimensión en la dirección del eje x) del pilar (UNE-EN 1992-1-1:2010, Tabla 6.1).

$$k_x : \underline{0.60}$$

k_y : Coeficiente que depende de la relación entre las dimensiones c_x (dimensión en la dirección del eje x) y c_y (dimensión en la dirección del eje y) del pilar (UNE-EN 1992-1-1:2010, Tabla 6.1).

$$k_y : \underline{0.60}$$

M_{xd} : Momento de cálculo alrededor del eje x, respecto al centro de gravedad del perímetro crítico u_1 .

$$M_{xd} : \underline{-9.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$



M_{yd}: Momento de cálculo alrededor del eje y, respecto al centro de gravedad del perímetro crítico u₁.

M_{xdp}: Momento de cálculo alrededor del eje x, respecto al centro de gravedad del pilar.

M_{ydp}: Momento de cálculo alrededor del eje y, respecto al centro de gravedad del pilar.

u₁: Perímetro crítico de punzonamiento (EHE-08, 46.2).

$$M_{yd} : 23.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{xdp} : -9.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ydp} : 23.82 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$u_1 : 5954 \text{ mm}$$

$$W_{1x} : 35762.9 \text{ cm}^2$$

dl: Elemento diferencial de longitud del perímetro crítico.

e_y: Distancia desde dl hasta el eje alrededor del cual actúa el momento M_{xd}.

$$W_{1y} : 35762.9 \text{ cm}^2$$

e_x: Distancia desde dl hasta el eje alrededor del cual actúa el momento M_{yd}.

d: Canto útil de la losa.

$$d : 315 \text{ mm}$$

La tensión máxima resistente de una losa con armadura de punzonamiento en el perímetro crítico se obtiene mediante la siguiente expresión (EHE-08, 46.4.1):

$$\tau_{rd,cs} : 0.84 \text{ N/mm}^2$$

Donde:

$$\tau_{rd,c} : 0.66 \text{ N/mm}^2$$

con un valor mínimo de:

$$\tau_{rd,c,min} : 0.66 \text{ N/mm}^2$$

Donde:

γ_c: Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón.

ξ: Coeficiente que depende del canto útil 'd'.

$$\gamma_c : 1.50$$

$$\xi : 1.80$$

f_{ck}: Resistencia característica a compresión del hormigón.

ρ_l: Cuantía geométrica de la armadura longitudinal principal de tracción.

$$f_{ck} : 30.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_l : 0.0039$$

Donde:

ρ_x: Cuantía en la dirección X.

ρ_y: Cuantía en la dirección Y.

σ'_{cd}: Tensión axial media en la superficie crítica de comprobación (compresión positiva), con un valor máximo de σ'_{cd,max}.

$$\rho_x : 0.0038$$

$$\rho_y : 0.0040$$

$$\sigma'_{cd} : 0.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma'_{cd,max} : 6.00 \text{ N/mm}^2$$

f_{cd}: Resistencia de cálculo a compresión del hormigón.

$$f_{cd} : 20.00 \text{ N/mm}^2$$

A_{sw}: Área total de armadura de punzonamiento en un perímetro concéntrico al soporte o área cargada.

s: Distancia en dirección radial entre dos perímetros concéntricos de armadura.

α: Ángulo entre la armadura de punzonamiento y el plano de la losa.

Referencia	A _{sw} (mm ²)	s (mm)	α (grados)	A _{sw} /s (cm ² /m)
1	471	200	45.0	23.6
1	471	200	45.0	23.6

f_{ya,d}: Resistencia de cálculo de la armadura A_a, no mayor que 400 N/mm².

$$f_{ya,d} : 400.00 \text{ N/mm}^2$$

u₁: Perímetro crítico de punzonamiento (EHE-08, 46.2).

$$u_1 : 5954 \text{ mm}$$

2.3.- Armadura de refuerzo (P21)

2.3.1.- Distancia libre entre dos barras aisladas consecutivas

La distancia libre d_i, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas debe ser igual o superior a s_{min} (EHE-08, 69.4.1.1):

$$140 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \checkmark$$

Donde:

s_{min}: Valor máximo de s₁, s₂, s₃.

$$s_{min} : 25 \text{ mm}$$

$$s_1 : 20 \text{ mm}$$

$$s_2 : 25 \text{ mm}$$

$$s_3 : 10 \text{ mm}$$

Siendo:

d_a: Tamaño máximo del árido.

$$d_a : 20 \text{ mm}$$

Ø_{max}: Diámetro de la barra más gruesa de la armadura transversal.

$$\varnothing_{max} : 10 \text{ mm}$$

	d_l (mm)	s_{min} (mm)	$\varnothing_{max}$ (mm)	
1	140	25	10	✓
1	140	25	10	✓

2.3.2.- Distancia entre la cara del soporte y el primer refuerzo de punzonamiento

La distancia entre la cara del soporte o área cargada y el primer refuerzo de punzonamiento no puede ser mayor que s_{max} (EHE-08, 46.5, Figura 46.5.b):

$$0 \text{ mm} \leq 158 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

$$s_{max} : 158 \text{ mm}$$

d : Canto útil de la losa.

$$d : 315 \text{ mm}$$

2.3.3.- Distancia entre perímetros de refuerzo transversal consecutivos

La distancia d_i entre perímetros de refuerzo transversal consecutivos debe ser, como máximo, igual a s_{max} (EHE-08, 46.5, Figura 46.5.b):

$$200 \text{ mm} \leq 236 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

$$s_{max} : 236 \text{ mm}$$

d : Canto útil de la losa.

$$d : 315 \text{ mm}$$

2.3.4.- Distancia entre dos refuerzos consecutivos en sentido perimetral

La distancia d_i entre dos refuerzos consecutivos en sentido perimetral no puede ser mayor que s_{max} (UNE-EN 1992-1-1:2010, 9.4.3):

$$150 \text{ mm} \leq 473 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Donde:

$$s_{max} : 473 \text{ mm}$$

d : Canto útil de la losa.

$$d : 315 \text{ mm}$$

2.3.5.- Distancia entre la cara externa del soporte y la barra inclinada a 45° más exterior

Esta comprobación no procede, ya que el refuerzo se encuentra situado entre las caras externas del soporte.

2.7.1.3. Comprobación de flecha

El programa CYPECAD no puede calcular automáticamente la comprobación de flecha de losas macizas y forjados reticulares, pero si nos permite conocer la flecha entre dos puntos cualesquiera de estos elementos, y realizar esta comprobación a mano.

A continuación, se muestra una imagen de los isovalores de deformaciones del forjado de la primera planta que proporciona CYPECAD:

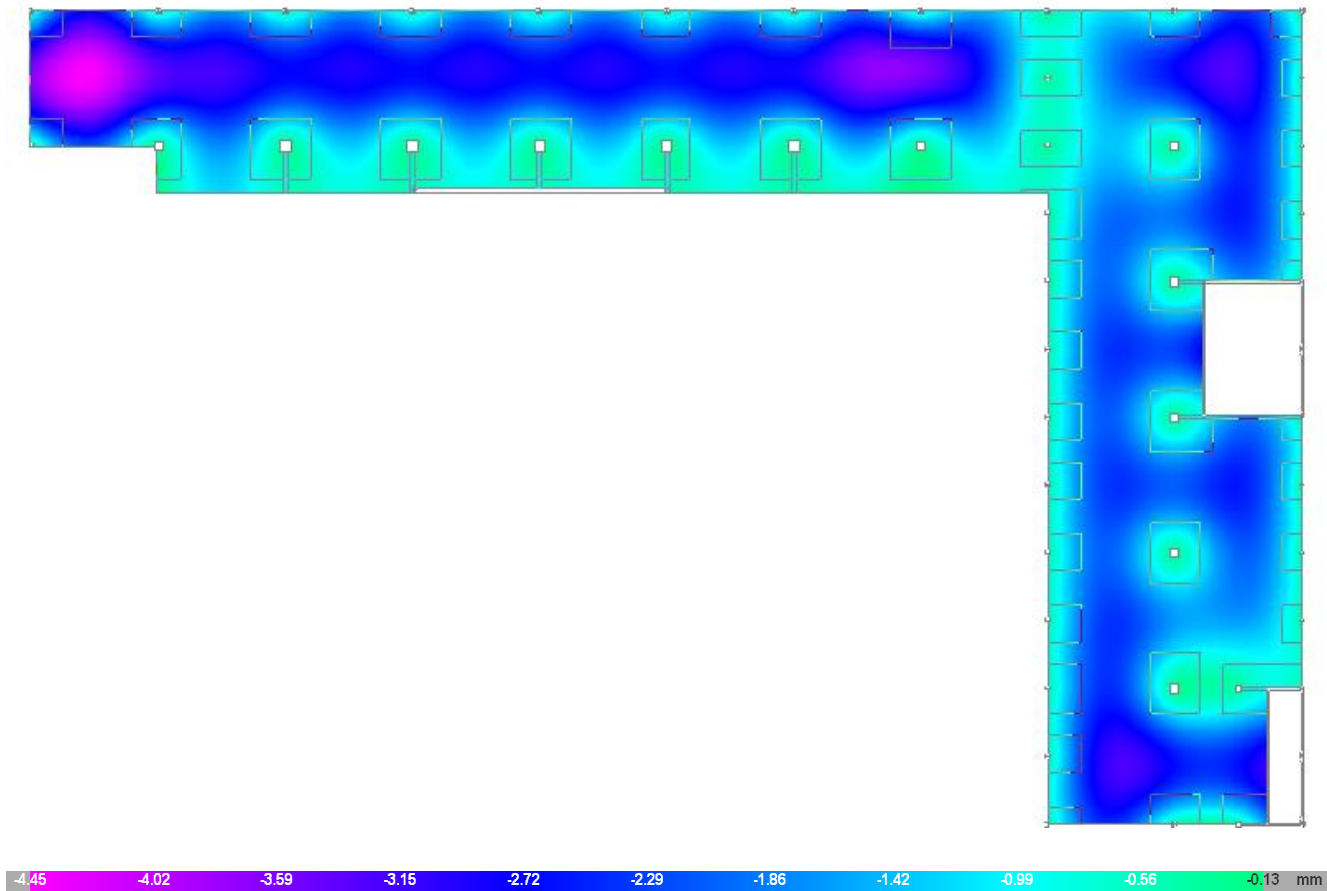


Imagen 16 – Isovalores de deformada para el forjado reticular de la primera planta. Fuente: Propia

Las mayores deformaciones se producen en el extremo izquierdo del forjado reticular de la primera planta del edificio principal. Medimos la flecha entre dos soportes diagonalmente opuestos en esta zona para ver se cumple la flecha máxima que permite la EHE-08 de $L/400$, y como se ve en la imagen, se cumple:

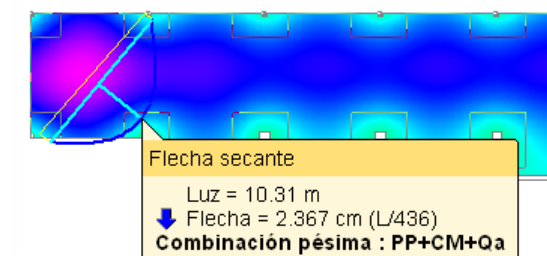


Imagen 17 – Flecha máxima en los forjados reticulares. Fuente: Propia

2.7.2. Comprobaciones y dimensionamiento del forjado de viguetas

El cálculo de las viguetas es mucho más sencillo que el anterior, ya que, al ser estructuras unidireccionales, únicamente resisten esfuerzos en un plano.

A continuación, se muestra donde se ha dispuesto el forjado de viguetas, en el pasillo superior de las gradas superiores:

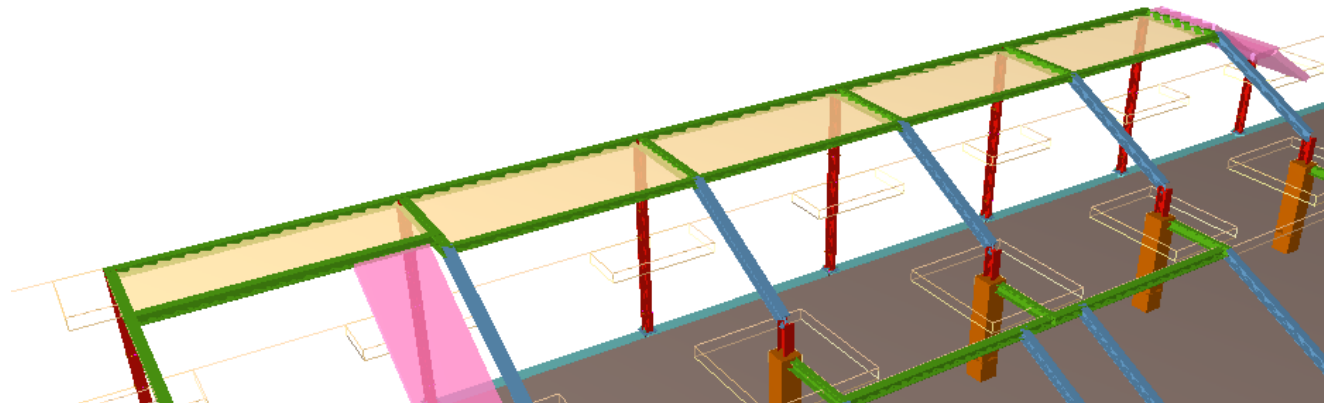


Imagen 18 – Vista en 3D del forjado de viguetas en la segunda planta. Fuente: Propia

Al ser una luz de solo 3,47 metros, se decide disponer una vigueta con las siguientes características:

- Canto de bovedilla: 20 cm
- Espesor capa compresión: 5 cm
- Intereje: 70 cm
- Ancho del nervio: 10 cm
- Ancho de la base: 14 cm
- Bovedilla: fu20+5
- Peso propio: 2.144 kN/m²

El armado de la vigueta en un tramo de 7,50 metros es la siguiente:

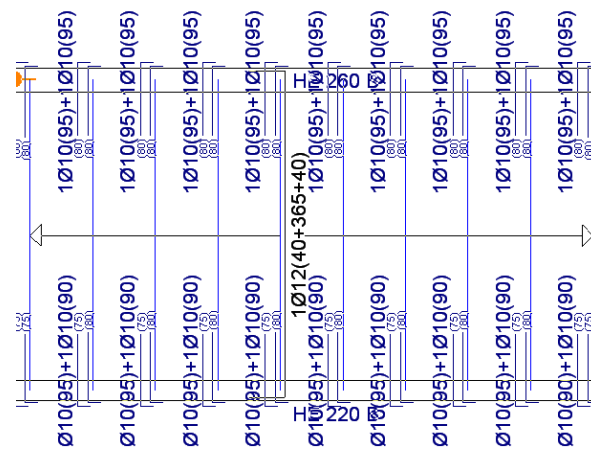


Imagen 19 – Armado de vigueta. Fuente: Propia

Y finalmente comprobamos que se cumple la comprobación a flecha con muy poco aprovechamiento de la pieza para el estado límites de servicio de deformaciones:

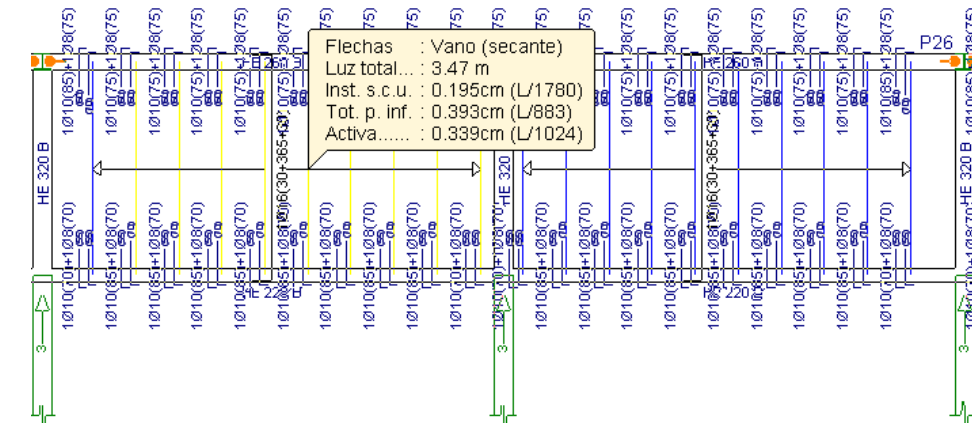


Imagen 20 – Flecha máxima en el forjado de viguetas. Fuente: Propia

3. Muros pantalla

El cálculo geotécnico de los muros pantalla se realizó en el Anejo Nº10 – Análisis y cálculos geotécnicos.

A continuación, se llevará a cabo el dimensionamiento de su armado para resistir los esfuerzos más desfavorables de cada una de las fases de su construcción.

3.1. Programa de cálculo empleado

Para realizar esta comprobación se ha utilizado el módulo de Muros pantalla del programa de cálculo CYPE 2015, al igual que en el dimensionamiento geotécnico.

Se permite definir un armado del módulo de muro pantalla de 5 metros y efectuar las comprobaciones de la misma frente a los esfuerzos a los que es sometido, calculado a partir de los empujes del terreno en cada una de las fases de su construcción.

3.2. Esfuerzos sobre el muro pantalla de las distintas fases

En las tablas que se proporcionan a continuación, aparecen los esfuerzos sobre el muro pantalla en varias secciones de su altura para cada una de las fases:

FASE 1: DISMINUCIÓN DEL NIVEL FREÁTICO A LA COTA: -8.00 m

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m²)	Presión hidrostática (kN/m²)
0.90	-0.15	-0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00
-0.76	-0.14	20.30	-0.08	-0.03	-0.09	0.00
-2.27	-0.12	38.82	-0.10	-0.20	0.06	0.00
-3.78	-0.11	57.35	0.01	-0.26	0.08	0.00
-5.29	-0.09	75.87	0.12	-0.15	0.05	0.00
-6.80	-0.08	94.40	0.15	0.07	-0.02	0.00
-8.31	-0.06	112.92	0.07	0.25	-0.08	0.00
-9.82	-0.05	131.45	-0.03	0.26	-0.04	0.00
-11.33	-0.03	149.97	-0.07	0.17	-0.01	0.00
-12.84	-0.02	168.50	-0.07	0.05	0.03	0.00
Máximos	-0.01 Cota: -14.10 m	183.94 Cota: -14.10 m	0.15 Cota: -6.55 m	0.27 Cota: -9.06 m	0.09 Cota: -14.10 m	0.00 Cota: -11.08 m
Mínimos	-0.15 Cota: 0.90 m	-0.00 Cota: 0.90 m	-0.12 Cota: -1.51 m	-0.27 Cota: -3.52 m	-0.19 Cota: -0.25 m	0.00 Cota: 0.90 m

FASE 2: EXCAVACIÓN HASTA LA COTA: -2.50 m

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m²)	Presión hidrostática (kN/m²)
0.90	-4.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00
-0.76	-3.14	20.30	0.46	0.12	3.81	0.00
-2.27	-2.37	38.82	13.62	10.24	15.54	0.00
-3.78	-1.68	57.35	8.25	31.64	-10.09	0.00
-5.29	-1.23	75.87	-5.21	31.63	-5.21	0.00
-6.80	-1.01	94.40	-8.59	19.60	0.76	0.00
-8.31	-0.94	112.92	-6.15	8.47	2.23	0.00
-9.82	-0.94	131.45	-2.90	2.10	1.84	0.00
-11.33	-0.96	149.97	-0.68	-0.16	0.95	0.00
-12.84	-0.98	168.50	0.22	-0.24	0.12	0.00
Máximos	-0.94 Cota: -9.06 m	183.94 Cota: -14.10 m	17.58 Cota: -2.77 m	34.15 Cota: -4.53 m	15.54 Cota: -2.27 m	0.00 Cota: -11.08 m
Mínimos	-4.00 Cota: 0.90 m	-0.00 Cota: 0.90 m	-8.63 Cota: -6.55 m	-0.35 Cota: -12.09 m	-12.15 Cota: -3.02 m	0.00 Cota: 0.90 m

FASE 3: COLOCACIÓN DE ANCLAJE ACTIVO EN LA COTA: -1.80 m

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m²)	Presión hidrostática (kN/m²)
0.90	-2.15	-0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00
-0.76	-1.69	20.30	14.19	6.11	25.64	0.00
-2.01	-1.39	85.74	-37.61	31.09	30.23	0.00
-3.52	-1.20	104.26	-4.79	8.76	6.72	0.00
-5.04	-1.09	122.79	-1.02	6.67	-1.10	0.00
-6.55	-1.03	141.31	-1.72	4.26	0.15	0.00
-8.06	-1.00	159.84	-1.26	2.01	0.40	0.00
-9.57	-0.99	178.36	-0.65	0.66	0.36	0.00
-11.08	-0.98	196.89	-0.21	0.10	0.19	0.00
-12.59	-0.98	215.41	-0.01	-0.01	0.05	0.00
-14.10	-0.97	233.94	0.00	-0.00	-0.04	0.00
Máximos	-0.97 Cota: -14.10 m	233.94 Cota: -14.10 m	48.99 Cota: -1.80 m	39.15 Cota: -1.80 m	30.85 Cota: -2.27 m	0.00 Cota: -11.08 m
Mínimos	-2.15 Cota: 0.90 m	-0.00 Cota: 0.90 m	-37.61 Cota: -2.01 m	-0.01 Cota: -12.59 m	-1.45 Cota: -4.78 m	0.00 Cota: 0.90 m

FASE 4: EXCAVACIÓN HASTA LA COTA: -7.10 m

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m²)	Presión hidrostática (kN/m²)
0.90	0.39	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.76	-2.55	20.30	13.54	6.11	12.74	0.00
-2.01	-4.82	111.71	-105.99	3.97	13.60	0.00
-3.52	-7.46	130.23	-76.37	-132.85	27.34	0.00
-5.04	-9.11	148.76	-28.19	-207.78	38.25	0.00
-6.55	-9.21	167.29	36.42	-195.44	49.08	0.00
-8.06	-7.86	185.81	91.73	-82.29	-0.84	0.00
-9.57	-5.87	204.34	49.62	30.32	-44.17	0.00
-11.08	-4.08	222.86	-2.85	54.97	-22.68	0.00
-12.59	-2.68	241.39	-26.07	26.86	-0.62	0.00
-14.10	-1.49	259.91	0.00	0.00	34.92	0.00
Máximos	0.39 Cota: 0.90 m	259.91 Cota: -14.10 m	91.73 Cota: -8.06 m	55.69 Cota: -10.83 m	52.68 Cota: -7.05 m	0.00 Cota: -11.08 m
Mínimos	-9.37 Cota: -5.79 m	-0.00 Cota: 0.90 m	-105.99 Cota: -2.01 m	-214.59 Cota: -5.54 m	-48.24 Cota: -9.32 m	0.00 Cota: 0.90 m

FASE 5: CONSTRUCCIÓN DE LOSA DE CIMENTACIÓN (COTA: -6.30 m)

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m²)	Presión hidrostática (kN/m²)
0.90	0.39	-0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00
-0.76	-2.55	20.30	13.54	6.10	12.73	0.00
-2.01	-4.82	111.71	-105.99	3.96	13.60	0.00
-3.52	-7.46	130.23	-76.35	-132.85	27.37	0.00
-5.04	-9.11	148.76	-28.12	-207.70	38.29	0.00
-6.55	-9.20	167.28	36.56	-195.19	49.13	0.00
-7.81	-8.15	182.72	88.90	-105.33	10.81	0.00
-9.32	-6.21	201.24	61.73	17.78	-48.20	0.00
-10.83	-4.35	219.77	3.66	55.64	-25.82	0.00
-12.34	-2.89	238.29	-24.31	33.40	-6.91	0.00
-13.85	-1.68	256.82	-11.71	1.11	29.06	0.00
Máximos	0.39 Cota: 0.90 m	259.91 Cota: -14.10 m	91.62 Cota: -8.06 m	55.64 Cota: -10.83 m	52.73 Cota: -7.05 m	0.00 Cota: -11.08 m
Mínimos	-9.36 Cota: -5.79 m	-0.00 Cota: 0.90 m	-105.99 Cota: -2.01 m	-214.47 Cota: -5.54 m	-48.20 Cota: -9.32 m	0.00 Cota: 0.90 m

FASE 6: CONSTRUCCIÓN DE FORJADO (COTA: -2.60 m)

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m²)	Presión hidrostática (kN/m²)
0.90	0.39	-0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00
-0.76	-2.55	20.30	13.55	6.11	12.76	0.00
-2.01	-4.82	111.69	-105.91	4.02	13.64	0.00
-3.27	-7.06	187.13	-82.88	-113.50	25.56	0.00
-4.78	-8.93	205.65	-37.36	-200.62	36.49	0.00
-6.29	-9.30	224.18	24.60	-204.47	47.33	0.00
-7.55	-8.43	239.61	83.28	-127.77	22.42	0.00
-9.06	-6.54	258.14	73.51	2.22	-46.71	0.00
-10.57	-4.63	276.66	11.01	54.71	-29.16	0.00
-12.09	-3.11	295.19	-21.35	39.53	-11.75	0.00
-13.60	-1.88	313.71	-17.56	4.06	23.23	0.00
Máximos	0.39 Cota: 0.90 m	319.89 Cota: -14.10 m	91.65 Cota: -8.06 m	55.64 Cota: -10.83 m	52.73 Cota: -7.05 m	0.00 Cota: -11.08 m
Mínimos	-9.36 Cota: -5.79 m	-0.00 Cota: 0.90 m	-105.91 Cota: -2.01 m	-214.51 Cota: -5.54 m	-48.20 Cota: -9.32 m	0.00 Cota: 0.90 m

FASE 7: CONSTRUCCIÓN DE FORJADO (COTA: 0.90 m)

BÁSICA

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (kN/m)	Ley de cortantes (kN/m)	Ley de momento flector (kN·m/m)	Ley de empujes (kN/m²)	Presión hidrostática (kN/m²)
0.90	0.39	0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00
-0.50	-2.10	97.21	8.48	2.50	19.41	0.00
-1.80	-4.42	139.07	25.43	26.27	11.95	0.00
-3.02	-6.64	284.05	-88.90	-93.36	23.73	0.00
-4.53	-8.71	302.58	-46.08	-191.97	34.80	0.00
-6.04	-9.33	321.10	13.44	-211.17	45.84	0.00
-7.30	-8.64	336.54	75.42	-148.41	35.13	-1.96
-8.81	-6.83	355.06	82.45	-15.62	-33.32	-1.96
-10.32	-4.87	373.59	19.08	52.55	-30.81	-1.96
-11.83	-3.27	392.12	-17.98	45.19	-12.26	-1.96
-13.34	-2.01	410.64	-22.05	8.52	19.45	-1.96
Máximos	0.39 Cota: 0.90 m	419.90 Cota: -14.10 m	91.86 Cota: -8.06 m	56.15 Cota: -10.83 m	53.21 Cota: -7.05 m	0.00 Cota: 0.90 m
Mínimos	-9.34 Cota: -5.79 m	0.00 Cota: 0.90 m	-106.14 Cota: -2.01 m	-215.15 Cota: -5.54 m	-46.52 Cota: -9.32 m	-1.96 Cota: -7.30 m

3.3. Comprobaciones y dimensionamiento del armado

Como se ha explicado anteriormente, se ha utilizado el módulo de Muros pantalla del programa CYPE 2015 para realizar el armado del muro pantalla. Este realiza una serie de iteraciones de la resistencia de varias combinaciones de armado a los esfuerzos pésimos de cada fase, eligiendo el armado óptimo entre estas.

El armado del muro pantalla propuesto es el siguiente:

Armado vertical trasdós	Armado vertical intradós	Armado base horizontal	Rigidizador vertical	Rigidizador horizontal
Ø16c/30	Ø16c/15 Refuerzos: - Ø25 L(580), D(340) D: Distancia desde coronación	Ø16c/20	4Ø16	6Ø16

Las comprobaciones que ha realizado el programa se listan en la tabla que se proporciona en la siguiente página.

El programa comprueba que cumple toda la normativa de aplicación a muros pantalla de la EHE-08, pero también comprueba que se cumplen una serie de recomendaciones propuestas por los ingenieros de la propia empresa, CYPE Ingenieros S.L., así como algunas propuestas por J. Calavera o las que figuran en la “NTE. Acondicionamiento del Terreno. Cimentaciones”.

Comprobación	Valores	Estado
Recubrimiento: <i>Norma EHE-08. Artículo 37.2.4.1</i>	Mínimo: 7 cm Calculado: 7 cm	Cumple
Separación libre mínima armaduras horizontales: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.4.1</i>	Mínimo: 2.5 cm Calculado: 18.4 cm	Cumple
Separación máxima armaduras horizontales: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.1</i>	Máximo: 30 cm Calculado: 20 cm	Cumple
Cuantía geométrica mínima horizontal por cara: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i>	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.00201	Cumple
Cuantía mínima mecánica horizontal por cara: <i>Criterio J.Calavera. "Muros de contención y muros de sótano". (Cuantía horizontal > 20% Cuantía vertical)</i>	Mínimo: 0.00184 Calculado: 0.00201	Cumple
Longitud de patilla horizontal: <i>La longitud de la patilla debe ser, como mínimo, 12 veces el diámetro. Criterio de J. Calavera, "Manual de Detalles Constructivos en Obras de Hormigón Armado".</i>	Mínimo: 19 cm Calculado: 27 cm	Cumple
Cuantía mínima geométrica vertical cara traccionada: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i> - Trasdós: - Intradós:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.00134 Calculado: 0.00268	Cumple Cumple
Cuantía mínima geométrica vertical cara comprimida: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.5</i> - Trasdós: - Intradós:	Mínimo: 0.00027 Calculado: 0.00134 Calculado: 0.00268	Cumple Cumple
Cuantía mínima mecánica vertical cara traccionada: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.2</i> - Trasdós: - Intradós:	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.00134 Mínimo: 0.00184 Calculado: 0.00922	Cumple Cumple
Cuantía mínima mecánica vertical cara comprimida: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.3</i> - Trasdós: - Intradós:	Mínimo: 0.00012 Calculado: 0.00134 Mínimo: 0.00015 Calculado: 0.00268	Cumple Cumple
Separación libre mínima armaduras verticales: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.4.1</i> - Trasdós: - Intradós:	Mínimo: 2.5 cm Calculado: 28.4 cm Calculado: 5.4 cm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Norma EHE-08. Artículo 42.3.1</i> - Armadura vertical Trasdós: - Armadura vertical Intradós:	Máximo: 30 cm Calculado: 30 cm Calculado: 15 cm	Cumple Cumple

Comprobación	Valores	Estado
Comprobación a flexión compuesta: <i>Comprobación realizada por módulo de pantalla</i>		Cumple
Comprobación a cortante: <i>Norma EHE-08. Artículo 44.2.3.2.1</i>	Máximo: 1204.3 kN Calculado: 796 kN	Cumple
Comprobación de fisuración: <i>Norma EHE-08. Artículo 49.2.3</i>	Máximo: 0.2 mm Calculado: 0.196 mm	Cumple
Longitud de solapes: <i>Norma EHE-08. Artículo 69.5.2</i> - Base trasdós: - Base intradós:	Mínimo: 0.56 m Calculado: 0.6 m Mínimo: 0.8 m Calculado: 0.8 m	Cumple Cumple
Rigidizadores horizontales: - Diámetro mínimo: <i>Criterio de CYPE Ingenieros. El diámetro del rigidizador debe ser como mínimo igual al mayor diámetro de la armadura base vertical.</i> - Separación máxima: <i>Criterio NTE. Acondicionamiento del Terreno. Cimentaciones.</i>	Mínimo: 16 mm Calculado: 16 mm Máximo: 2.5 m Calculado: 2.5 m	Cumple Cumple
Rigidizadores verticales: - Diámetro mínimo: <i>Criterio de CYPE Ingenieros. El diámetro del rigidizador debe ser como mínimo igual al mayor diámetro de la armadura base vertical.</i> - Separación máxima: <i>Criterio NTE. Acondicionamiento del Terreno. Cimentaciones.</i>	Mínimo: 16 mm Calculado: 16 mm Máximo: 1.5 m Calculado: 1.25 m	Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Sección crítica a flexión compuesta: Cota: -10.83 m, Md: 421.12 kN·m, Nd: 0.00 kN, Vd: 25.99 kN, Tensión máxima del acero: 335.955 MPa - Sección crítica a cortante: Cota: -2.02 m - Sección con la máxima abertura de fisuras: Cota: -5.54 m, M: -1075.76 kN·m, N: 0.00 kN - Los esfuerzos están mayorados y corresponden al ancho total del tramo definido. (Longitud tramo: 5.00 m)		

Por tanto, se cumple todas las comprobaciones y se confirma la armadura propuesta anteriormente como la definitiva a disponer.