



DOCUMENTO Nº2

ANEXO I

ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS Y DE SERVICIO

Autor: Rubén Cabrejas Merino

Director: Jesús Cuartero Salafranca

Noviembre de 2020



Índice de Anexo I. Estados límite últimos y de servicio

1. Introducción	32
2. Acciones	32
2.1. Acciones permanentes	32
2.2. Acciones variables	35
2.2.1. Sobrecarga de uso	35
2.2.2. Viento	37
2.2.3. Nieve	91
2.2.4. Sismo	94
3. Hipótesis de cálculo	94
3.1. Coeficientes de ponderación y factores Ψ	108



1. Introducción

En este anexo veremos los valores adoptados en lo que se refiere a acciones sobre la estructura y las combinaciones de estos valores para cumplir con la normativa y conseguir que la estructura sea segura. También se estudiarán los coeficientes correspondientes para el estudio de los estados límite últimos (ELU) y estados límite de servicio (ELS), y los cálculos locales que se realizan en cada uno de los elementos estructurales en CYPE 3D.

2. Acciones

Dentro de este capítulo se detallarán las acciones e hipótesis de cálculo adoptadas que nos servirán más adelante para analizar la estructura y ver si cumple con la normativa.

2.1. Acciones permanentes

En el caso de nuestra estructura las acciones permanentes serán las correspondientes con el peso propio de la grada, compuesta por la estructura portante, pasarelas, chapas, escaleras, asientos y barandillas. Estos pesos serán extraídos mayormente de catálogos de proveedores de HDS metálicas, que son utilizados habitualmente para la determinación de los pesos de los proyectos.

Se calculará el peso de los dos módulos por separado, pero hay que tener en cuenta que en la realidad el peso puede ser menor debido a que ambos módulos pueden compartir parte de la estructura portante, por lo que estos cálculos sobredimensionarán los pesos en favor de la seguridad.

Módulo de asientos:

- Asientos: no se posee el peso de los asientos CR2, pero se ha encontrado el peso de otro asiento compuesto también por polipropileno copolímero de mayores dimensiones que nuestro asiento de 1,9 kg, por lo que adoptaremos este valor:

$$16 \text{ asientos} \cdot 1,9 \text{ kg/asiento} = \mathbf{30,4 \text{ kg}}$$

- Estructura portante: la estructura que soportará nuestra grada está compuesta por perfiles 40x40x3 los cuales tienen un peso de 3,43 kg/m. Las estructuras de los laterales tienen una longitud contando todas las dimensiones de los perfiles estructurales que la componen de 12,1 m. En cada módulo de asientos tenemos dos estructuras laterales. Estas dos estructuras laterales están unidas por dos perfiles horizontales de 1920 mm cada uno y de una barra transversal de unos 2468 mm. En total tenemos 30,5 metros lineales de perfil cuadrado soldado 40x40x3, por lo tanto:

$$30,5 \text{ m} \cdot 3,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \mathbf{104,62 \text{ kg}}$$

- Chapas: debajo de los asientos se colocará chapa perforada de 1,5 mm con un porcentaje de agujeros del 63%. El peso de una chapa se halla con la siguiente fórmula:

$$\text{peso} = 8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{mm}} \cdot \text{área} (\text{m}^2) \cdot \text{espesor} (\text{mm})$$

Como en nuestro caso la chapa se encuentra perforada deberemos multiplicar por la parte de la chapa que no son huecos, es decir:



$$\text{área acero} = \text{área total} - \text{área huecos} = 100\% - 63\% = 37\%$$

Por lo que el peso que obtengamos lo deberemos multiplicar por este porcentaje.

El área total de chapa en nuestra grada es de $2,69 \text{ m}^2$, por lo que finalmente tendremos el siguiente peso:

$$8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{mm}} \cdot 2,69 \text{ m}^2 \cdot 1,5 \text{ mm} \cdot 0,37 = \mathbf{11,93 \text{ kg}}$$

- Pasarelas: las pasarelas estarán compuestas de chapa perforada de 1,5 mm y una perforación de agujeros del 23 %, soportada por dos perfiles 40x40x3. El área de las pasarelas total será de $5,95 \text{ m}^2$ y la longitud total de los perfiles en U será de 15,36 m.

El peso de la chapa se calculará de la misma forma que vimos en el anterior apartado, es decir el porcentaje de la zona donde no hay agujeros será del $100\% - 23\% = 77\%$, porcentaje el cual se multiplicará por el peso de las chapas si no tuviesen agujeros. Con esto, el área y el espesor de la chapa ya podemos calcular el peso que supone la chapa para las pasarelas:

$$8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{mm}} \cdot 5,95 \text{ m}^2 \cdot 1,5 \text{ mm} \cdot 0,77 = 54,98 \text{ kg}$$

A esto hay que añadirle el peso de los perfiles 40x40x3 que en total tienen una longitud de 15,36 m (2 perfiles por pasarela de 1920 mm cada uno).

$$15,36 \text{ m} \cdot 3,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 52,68 \text{ kg}$$

Por lo que todas las pasarelas pesarán $54,98 \text{ kg} + 52,68 \text{ kg} = \mathbf{107,66 \text{ kg}}$

- Barandillas: los pilares y vigas de las barandillas estarán fabricados en perfil 40x40x5 y las rejas en perfil redondo de 20 mm. Los perfiles 40x40x5 tienen un peso de 4,99 kg/m y los perfiles redondos de 20 mm de 2,57 kg/m.

Para el cálculo de este peso propio se considerará que están colocadas las barandillas en la parte trasera y en uno de los laterales, ya que en un solo módulo no pueden estar colocadas las dos barandillas laterales.

En total tenemos 18,58 m de perfil 40x40x5 y 36,72 m de perfil redondo de 20 mm por lo que el peso total de las barandillas será:

$$18,58 \text{ m} \cdot 4,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 36,72 \text{ m} \cdot 2,57 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \mathbf{187,08 \text{ kg}}$$

- Otros: este apartado está dedicado al peso de los husillos, anclajes, u otros elementos que se podrían disponer en la grada como embellecedores; los cuales, sabiendo que el peso principal de este punto va a ser los husillos ya que se van a colocar ocho (cuatro debajo de cada estructura portante lateral) y que su peso ronda los 3 kg, se van a estimar en **30 kg**.

Con esto ya podemos obtener el peso total del módulo de asientos:

$$30,4 + 104,62 + 11,93 + 107,66 + 187,08 + 30 = \mathbf{471,69 \text{ kg}}$$



Aplicando la aceleración gravitatoria a esta masa obtenemos la fuerza vertical que ejerce el peso propio de la estructura:

$$471,69 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4627,28 \text{ N}$$

Módulo de escaleras:

- Asientos: continuamos con la misma hipótesis que en el módulo de asientos solo que ahora tan solo tendremos dos localidades

$$2 \text{ asientos} \cdot 1,9 \text{ kg/asiento} = 3,8 \text{ kg}$$

- Estructura portante: las estructuras que soportarán estas escaleras en los laterales serán idénticos que las del módulo de asientos, por lo que el peso será el mismo. Lo único que cambia es que la unión de estas estructuras laterales se realiza con dos vigas horizontales de menor longitud y no se dispone de una barra transversal de arriostramiento.

De la misma forma que explicábamos en el otro módulo, una misma estructura lateral puede ser compartida por dos módulos, de tal forma que si para los cálculos utilizamos un módulo de asientos con un módulo de escaleras estaríamos aplicando un peso correspondiente a cuatro estructuras portantes laterales cuando en la realidad serían tres.

Los perfiles 40x40x3 que componen esta estructura tienen una longitud de 26,4 m en este módulo (si quitásemos una de las estructuras laterales serían 14,3 m) por lo que el peso de toda la estructura que soporta las escaleras será:

$$26,4 \text{ m} \cdot 3,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 90,55 \text{ kg}$$

- Chapa: en este módulo tan solo tenemos una chapa debajo de los asientos ya que solo hay una fila al final de las escaleras.

El área de esta chapa es de 0,385 m², por lo que utilizando la misma fórmula que para el módulo de asientos obtenemos un peso de:

$$8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{mm}} \cdot 0,385 \text{ m}^2 \cdot 1,5 \text{ mm} \cdot 0,37 = 1,71 \text{ kg}$$

- Escaleras: las escaleras estarán fabricadas con la misma chapa que las pasarelas, es decir, chapa perforada de 1,5 mm con una perforación de agujeros del 23%. Esta escalera tendrá 6 huellas de 400 mm de ancho y 1200 mm de largo, y 6 contrahuellas de 200 mm de alto y 1200 mm de largo, por lo que el desarrollo de la chapa que compone esta escalera será de 4,32 m².

El peso se obtiene aplicando la siguiente expresión:

$$8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{mm}} \cdot 4,32 \text{ m}^2 \cdot 1,5 \text{ mm} \cdot 0,77 = 39,92 \text{ kg}$$

- Barandillas: las barreras protectoras estarán conformadas con los mismos perfiles que en el módulo de los asientos, es decir perfil 40x40x5 para los pilares y vigas, y perfil redondo de 20 mm para las rejas.

La barandilla lateral pesará lo mismo que para el módulo de los asientos, mientras que la barandilla trasera pesará menos al tener menor longitud. Hay que tener en cuenta que en la mayoría de las ocasiones este módulo se colocará en una zona central por lo



que únicamente en estos casos se tendría una barrera en la parte posterior por lo que el peso sería considerablemente menor.

Con la barandilla lateral tendremos 16,96 m de perfil cuadrado 40x40x5 y 29,58 m de perfil redondo de 20 mm, por lo que aplicando los pesos lineales que utilizamos con el otro módulo podemos obtener el peso total de las barandillas:

$$16,96 \text{ m} \cdot 4,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 29,58 \text{ m} \cdot 2,57 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \mathbf{160,65 \text{ kg}}$$

- Otros: tal y como vimos en el módulo de los asientos hay una serie de elementos adicionales como pueden ser los husillos, anclajes, sujeciones... que se van a estimar en **30 kg**.

Con los pesos de cada parte del módulo de escaleras podemos hallar el peso de esta estructura:

$$3,8 + 90,55 + 1,71 + 39,92 + 160,65 + 30 = \mathbf{326,63 \text{ kg}}$$

y por lo tanto la fuerza que ejerce esta masa en dirección vertical hacia abajo será:

$$326,63 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \mathbf{3204,24 \text{ N}}$$

2.2. Acciones variables

En la norma UNE-EN 13200-6:2013 se exponen ciertos valores y explicaciones de las acciones variables que hay que considerar en una grada desmontable. En esta normativa también se hace referencia principalmente a la norma UNE-EN 1991-1-1 para el cálculo de sobrecargas de uso verticales, además del peso propio que ya hemos visto, y a la norma UNE-EN 1991-1-4 en lo que se refiere a cargas inducidas por el viento. Se analiza además las cargas debidas a nieve y si procede las cargas frente a sismo.

2.2.1. Sobrecarga de uso

En la norma UNE-EN 1991-1-1 se establecen varias categorías de cargas dependiendo del tipo de actividad de las partes de una estructura.

- Categoría C se refiere a las zonas en las que las personas se pueden congregar.
- Categoría C2 se refiere a las zonas con asientos fijos, en los que la sobrecarga de uso es la siguiente: carga uniformemente distribuida de 3 kN/m² a 4 kN/m².
- Categoría C5 se refiere a las zonas susceptibles de agolpamiento de personas, incluidos los asientos, el rango de la sobrecarga de uso es: carga uniformemente distribuida de 5 kN/m² a 7,5 kN/m². [1]

Por lo tanto, nuestra grada estaría englobada dentro de la categoría C y concretamente el módulo de asientos se considerará de categoría C2 aplicando la sobrecarga de uso recomendada de **4 kN/m²**, y el módulo de escaleras será de categoría C5 utilizando la carga uniformemente distribuida recomendada de **5 kN/m²**.

Estas cargas se deberán combinar con el resto de las acciones variables que actúen simultáneamente, y se englobarán en una única acción según la norma UNE-EN 1991-1-1.

También la norma UNE-EN 1991-1-1 dictamina que, con el fin de asegurar una resistencia local mínima de la estructura, debe realizarse una verificación por separado con una carga



concentrada que no debe combinarse con las cargas uniformemente repartidas u otras acciones variables. [4]

Estas cargas concentradas serán de **4 kN** para las estructuras categoría C2, es decir, en nuestro caso para para el módulo de asientos, y de **4,5 kN** para las estructuras categoría C5, es decir, para el módulo de escaleras, escogiendo los valores recomendados. Estas cargas concentradas se pueden considerar que actúan en un área cuadrada de 50 mm de lado. Hay que tener en cuenta que estas cargas concentradas son las más desfavorables que aparecen en la normativa, ya que la norma UNE-EN 13200-6:2013 dice que los elementos que forman una grada desmontable deben ser capaces de soportar una carga de 1 kN, valor el cual es sobrepasado ampliamente por los valores que ofrece el Eurocódigo 1, por lo que esta norma considera que en numerosos casos las cargas establecidas en la norma UNE-EN 1991-1-1 no se tienen porque aplicar en gradas desmontables y lo que habría que realizar sería una evaluación de los riesgos documentada en función de la utilización prevista. Nosotros en un principio utilizaremos los valores recogidos en el Eurocódigo 1 y en el caso de que en los análisis se demostrase que es un valor excesivo para el uso previsto se optaría por esta segunda opción.

Para el cálculo de los pilares se recomienda que la fuerza axial máxima se calcule suponiendo que la sobrecarga total sobre el forjado de cada planta se distribuye uniformemente [4]. En nuestro caso no son plantas, pero tenemos diferentes alturas del suelo y lo que se hará será distribuir uniformemente la sobrecarga total en cada una de las pasarelas que soportan los pilares de las estructuras portantes laterales.

Todas las sobrecargas de uso verticales se han considerado como acciones cuasi estáticas tal y como determina la norma UNE-EN 1990:2019.

En la norma UNE-EN 13200-6:2013 también se atiende a los efectos que pueden producir el movimiento de los espectadores y las posibles imperfecciones geométricas que pueden aparecer, como defectos de alineación de los elementos verticales que transfieren las cargas desde la plataforma hasta el pavimento, utilizando cargas horizontales teóricas. Esta carga teórica horizontal será de un 6% de la sobrecarga de uso vertical y se combinará con la carga debida al viento con un coeficiente parcial de 1,5.

La sobrecarga de uso vertical en el caso del módulo de los asientos de 4 kN/m^2 está repartida en un área de $5,656 \text{ m}^2$ lo que supone una fuerza total de $22,624 \text{ kN}$, y en el caso del módulo de escaleras los 5 kN/m^2 de sobrecarga de uso vertical están repartidos en un área de $3,36 \text{ m}^2$ lo que genera una fuerza total de $16,8 \text{ kN}$. El 6% de estas fuerzas son **1,357** y **1,008 kN** respectivamente, lo que corresponde con la carga horizontal teórica. Estas fuerzas se han calculado de esta forma ya que si la grada tuviese una mayor área entre cada estructura portante lateral parece lógico que las cargas horizontales debido por ejemplo a los movimientos de los espectadores serían mayores, por lo que al realizarse de esta forma se tienen en cuenta el tamaño del área horizontal de la grada, el cual no se tendría en cuenta si se obtuviese la carga horizontal teórica aplicando el 6% a los valores de 4 kN/m^2 y 5 kN/m^2 correspondientes con las sobrecargas de uso verticales. Las cargas horizontales se distribuirán uniformemente en las caras de los perfiles verticales (cada estructura soporte lateral tiene $0,474 \text{ m}^2$ y las cuatro estructuras serían $1,897 \text{ m}^2$) lo que supone **1,247 kN/m²**, y en el caso de que la sobrecarga se aplique en dirección perpendicular al frontal de la estructura tendríamos **1,499 kN/m²**. En el programa para el cálculo de estructuras CYPE 3D las carga sobre las barras se piden en kN/m por lo que estas cargas serán **0,05 kN/m** cuando la sobrecarga horizontal se

ejerce hacia el lateral de la grada, y **0,06 kN/m** cuando la sobrecarga horizontal se ejerza en dirección perpendicular al frontal de la grada.

2.2.2. Viento

En la norma UNE-EN 13200-6:2013, la cual está dedicada específicamente a las gradas (temporales) desmontables, nos indica que las cargas debidas al viento deben calcularse para toda la estructura es decir para los componentes, para los elementos de revestimiento y para los anclajes. [1]

También esta norma nos ofrece diferentes enfoques de diseño debido a que una grada temporal puede utilizarse en diferentes lugares con condiciones de viento distintas. Estos enfoques son:

- a) **Se diseña la grada y los anclajes necesarios para las condiciones de viento más desfavorables.**
- b) Se diseña la grada y los anclajes específicamente para el lugar donde se vaya a utilizar.
- c) Se diseña un sistema normalizado y los anclajes necesarios previendo su utilización solo hasta una determinada velocidad del viento, capaz de resistir, independientemente de su ocupación, las velocidades eventuales máximas del viento sin fallo estructural, vuelco o desplazamiento de los elementos. Se debería definir una metodología para controlar la velocidad del viento y para garantizar la seguridad de las personas que ocupan la instalación o sus alrededores cuando se sobrepase la velocidad del viento durante su utilización. [1]

En nuestro caso al no saber la ubicación exacta debemos descartar directamente la opción b) y entre los otros dos enfoques de diseño se ha optado por la opción a) ya que se considera más segura y no es necesario aplicar una metodología para controlar la velocidad del viento en la que entra en juego el factor humano y en la práctica es más probable que pueda pasarse por alto.

Esta norma nos remite a la UNE-EN 1991-1-4:2018, la cual es una normativa dedicada específicamente a las acciones del viento.

Esta norma nos ofrece valores de las acciones del viento, los cuales habrá que tener en cuenta que son valores característicos.

El efecto del viento sobre la estructura (es decir, la respuesta de la estructura) depende del tamaño, forma y propiedades dinámicas de la estructura. La norma UNE-EN 1991-1-4:2018 cubre la respuesta dinámica a las turbulencias en la dirección del viento en resonancia con las vibraciones en la dirección del viento de un modo fundamental de flexión de signo constante. [2]

No se consideran los efectos aeroelásticos del viento puesto que la normativa nos especifica que no es necesaria su comprobación en edificación convencional.

La respuesta de la estructura se debería calcular a partir de la presión correspondiente a la velocidad de pico, q_p , a la altura de referencia y en campo abierto, considerando los coeficientes de fuerza y de presión y el factor estructural $c_s c_d$. [2]

Lo que veremos a continuación será como calcular todos los parámetros necesarios para obtener estos coeficientes y finalmente la presión correspondiente a la velocidad de pico, la

cual depende del clima del lugar donde se coloque la grada, de la rugosidad del terreno, de la orografía y la altura de referencia de la estructura. Esta presión q_p está compuesta por la presión correspondiente a la velocidad media del viento más la contribución de las fluctuaciones rápidas de presión que se pueden dar.

Es por esto por lo que la velocidad y la presión del viento se componen de una componente media y una componente variable.

La velocidad media del viento v_m debería determinarse a partir de la velocidad básica del viento v_b , que depende del clima del lugar, de la variación de la altura del viento determinada a partir de la rugosidad del terreno y la orografía. [2]

Velocidad básica del viento:

La velocidad básica del viento viene dada por la siguiente expresión:

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

donde $v_{b,0}$ es el valor fundamental de la velocidad básica del viento, que es la velocidad característica media del viento medida durante 10 minutos, independientemente de la dirección del viento y la época del año, a 10 metros sobre el nivel del suelo, en campo abierto, con vegetación baja como la hierba, y con obstáculos aislados de al menos 20 veces la altura de los obstáculos. [2]

Esta velocidad depende de la ubicación tal y como podemos observar en el siguiente mapa de isotacas que aparece en el anexo nacional de la norma UNE-EN 1991-1-4:2018.

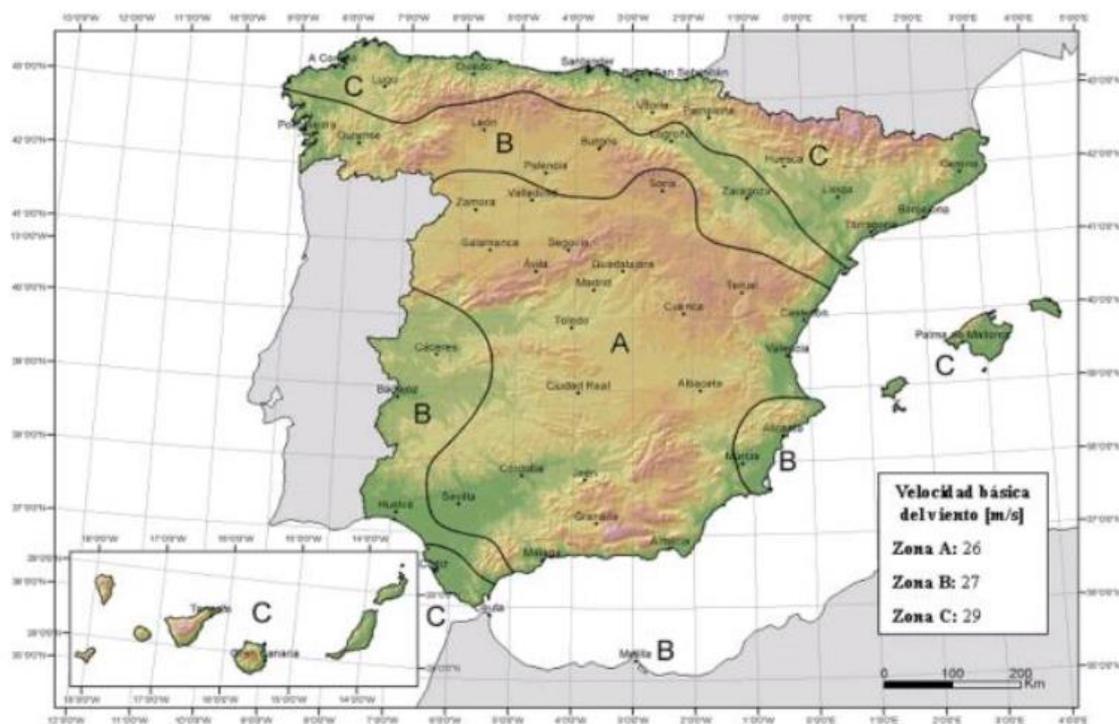


Figura 17: Mapa de isotacas de la velocidad básica fundamental del viento $v_{b,0}$



Aunque la zona donde se fabrica esta grada es en la zona B, debido a que es una grada transportable se debe considerar que puede instalarse en la zona más desfavorable, la cual es la zona C, por lo que $v_{b,0} = 29 \text{ m/s}$.

c_{dir} es el factor direccional y su valor recomendado es 1.

c_{season} es el factor estacional, el cual la norma nos dice que para estructuras transportables que pueden utilizarse en cualquier época del año, como es nuestro caso, vale 1.

Por lo tanto, la velocidad básica del viento será:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 29 = 29 \text{ m/s}$$

Velocidad media del viento:

La velocidad media del viento $v_m(z)$ a una altura z por encima del terreno, depende de la rugosidad y la orografía, y de la velocidad básica del viento, v_b , y se determina mediante la siguiente expresión:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

donde $c_r(z)$ es el factor de rugosidad y $c_o(z)$ es el coeficiente topográfico que se toma como 1.

El factor de rugosidad del terreno, $c_r(z)$, tiene en cuenta la variabilidad de la velocidad media del viento en la localización concreta de la estructura debida a la altura sobre el nivel del suelo y la rugosidad del terreno situado a barlovento de la estructura en la dirección del viento considerada. [2]

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{para} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{para} \quad z \leq z_{\min}$$

donde z_0 es la longitud de la rugosidad y z la altura de la estructura que en nuestro caso es 1,93 m contando la última fila de asientos.

k_r es el factor del terreno, que depende de la longitud de la rugosidad z_0 y se calcula así:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

donde $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$; z_{\max} son 200 m; y z_0 y z_{\min} vienen dados en la siguiente tabla y dependen de la categoría del terreno.

	Categoría de terreno	z_0 (m)	z_{\min} (m)
0	Mar abierto o zona costera expuesta al mar abierto	0,003	1
I	Lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos.	0,01	1



II	Áreas con vegetación baja, como hierba, y obstáculos aislados (árboles, edificaciones) con separaciones de al menos 20 veces la altura de los obstáculos	0,05	2
III	Áreas con una cobertura de vegetación uniforme o edificaciones o con obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos (villas, terreno suburbano, bosques permanentes)	0,3	5
IV	Áreas en las que al menos un 15% de la superficie está cubierta por edificios cuya altura media supera los 15 m	1,0	10

Tabla 2: Categorías de terrenos y parámetros del terreno

Como tenemos que calcular las acciones del viento en las condiciones más desfavorables, hallaremos el factor de rugosidad del terreno, $c_r(z)$, para las zonas 0 y IV (ya que las demás zonas tienen valores intermedios) y nos quedaremos con el mayor valor.

Para la zona 0:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,003}{0,05}\right)^{0,07} = 0,156$$

Como la altura de la estructura es 1,93 m y se encuentra entre los valores máximo y mínimo de 200 m y 1 m respectivamente, utilizamos la siguiente expresión para hallar el factor de rugosidad:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right); c_r(1,93) = 0,156 \cdot \ln\left(\frac{1,93}{0,003}\right) = 1,009031$$

Para la zona IV:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{1}{0,05}\right)^{0,07} = 0,234$$

En este caso como la altura mínima es de 10 m y es mayor que la altura de nuestra grada debemos calcular el factor de rugosidad con este valor:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right); c_r(10) = 0,156 \cdot \ln\left(\frac{10}{1}\right) = 0,5396$$

Como en la ecuación para obtener la velocidad media del viento el factor de rugosidad va multiplicando debemos quedarnos con el mayor valor como dijimos anteriormente, por lo que $c_r(z) = 1,009031$.

Con esto ya podemos calcular la velocidad media del viento:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 1,009031 \cdot 1 \cdot 29 = \mathbf{29,262 \text{ m/s}}$$

Turbulencias:

La intensidad de la turbulencia $I_v(z)$ a una altura z se define como la desviación típica de la turbulencia dividida por la velocidad media del viento. [2]



La componente turbulenta de la velocidad del viento tiene un valor medio de 0 y una desviación típica de σ_v , la cual se determina de la siguiente forma:

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

donde k_l es el factor de turbulencia, y su valor recomendado es 1,0.

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l = 0,156 \cdot 29 \cdot 1 = 4,525 \text{ m/s}$$

Con la desviación típica de la turbulencia ya podemos obtener la intensidad de la turbulencia mediante la siguiente ecuación:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{para} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

Lo calculamos de las dos formas para comprobar que no hemos cometido ningún error:

$$I_v(1,93) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{4,525}{29,262} = 0,1546$$

$$I_v(1,93) = \frac{k_l}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(1,93/0,003)} = 0,1546$$

Observamos que da el mismo valor, **$I_v(1,93) = 0,1546$** .

Presión correspondiente a la velocidad de pico:

Tenemos que determinar la presión correspondiente a la velocidad de pico, $q_p(z)$, a una altura z , que incluye la velocidad media del viento y las fluctuaciones de velocidad a corto plazo mediante la siguiente expresión:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

donde ρ es la densidad del aire, que, aunque depende de la altitud, de la temperatura y de la presión barométrica esperada en la región durante las tormentas de viento, se puede considerar $1,25 \text{ kg/m}^3$.

$c_e(z)$ es el factor de exposición que se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$$

o utilizando la siguiente gráfica:

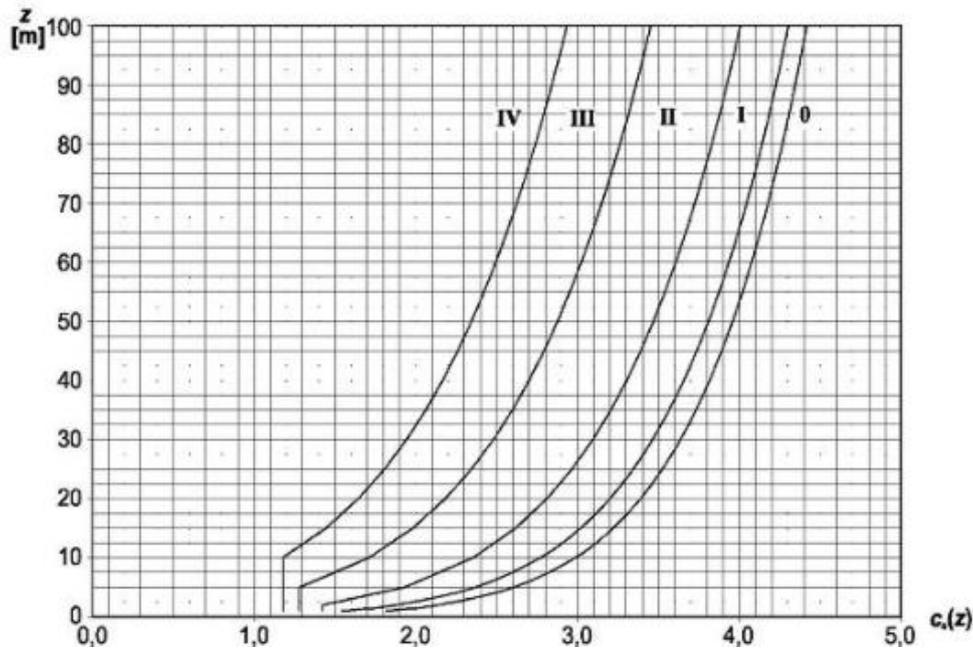


Figura 18: Coeficiente de exposición $c_e(z)$ para $c_o=1,0$, $k_f=1,0$

q_b es la presión correspondiente a la velocidad media de referencia del viento, dada por la siguiente expresión:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

Sabiendo todo esto ya podemos calcular estos parámetros:

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,1546] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 29,262^2 \\ &= 1114,32 \frac{kg}{m \cdot s^2} = \mathbf{1,114 \text{ KN/m}^2} \end{aligned}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 29^2 = 525,625 \frac{kg}{m \cdot s^2} = 0,526 \text{ KN/m}^2$$

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{1,114}{0,526} = 2,118$$

Vemos que en la gráfica el coeficiente de exposición da aproximadamente lo mismo:

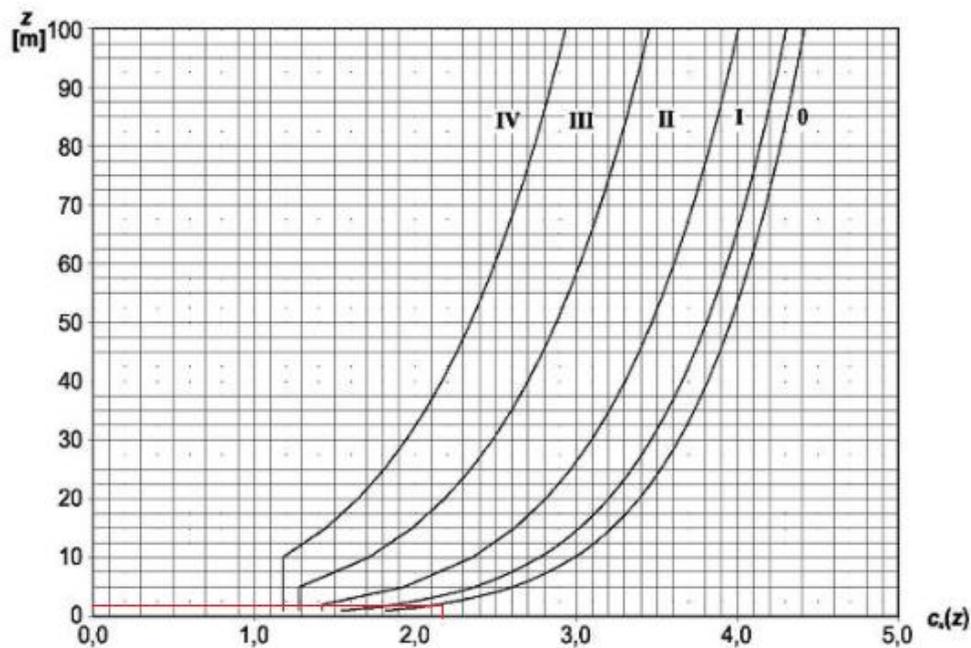


Figura 19: Cálculo del coeficiente de exposición $c_e(z)$

Coeficientes de fuerza:

Los coeficientes de fuerza dependen del tipo de estructura que tengamos por eso llegados a este punto debemos dictaminar en que tipos de estructura de divide nuestra grada.

Por un lado, tendríamos la estructura portante que debido a que posee huecos superiores al 30% en cada cara se debe considerar como un andamiaje, y por otro lado tendríamos la grada que se considerará como una marquesina a un agua debido a que en la normativa no se detallan las estructuras escalonadas y esta solución queda del lado de la seguridad puesto que en la realidad además hay una superficie de huecos debido a la utilización de chapa perforada debajo de los asientos y en las pasarelas.

En el caso de las estructuras trianguladas o andamiajes se utiliza la siguiente expresión para calcular el coeficiente de fuerza:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_\lambda$$

donde $c_{f,0}$ es el coeficiente de fuerza para estructuras de celosía y andamiajes sin efecto cola, el cual depende de la relación de solidez y del número de Reynolds.

La relación de solidez se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\varphi = \frac{A}{A_c}$$

donde A es la suma de las áreas proyectadas de los elementos y las cartelas proyectados en dirección normal a la superficie:

$$A = \sum_i b_i \cdot l_i + \sum_k A_{gk}$$



donde b_i y l_i son la anchura y la longitud del elemento individual proyectado en dirección normal a la cara considerada, y A_{gk} es el área de la cartela k.

y A_c es el área encerrada por el contorno de la superficie proyectada en dirección normal a la cara:

$$A_c = d \cdot l$$

donde l es la longitud de la estructura de celosía y d la anchura de la estructura de celosía.

Sabiendo esto ya podemos calcular estos valores, y debido a la similitud de los dos módulos a la hora de recibir cargas de viento podemos considerar la configuración para 50 espectadores consistente en dos módulos de asientos con un módulo de escaleras central. Esta configuración estructuralmente no presenta diferencias sustanciales con otras configuraciones por lo que el comportamiento de la estructura frente al viento será equivalente a otras configuraciones y por lo tanto los coeficientes de fuerza serán los mismos.

En nuestro caso tenemos dos estructuras diferentes que se repiten las cuales son la estructura lateral portante y las barras de unión de estas estructuras laterales que conforman la parte trasera de la grada.

$$A_c = d \cdot l = 5,12 \text{ m} \cdot 1,65 \text{ m} = 8,448 \text{ m}^2$$

será el área encerrada correspondiente con las barras situadas en la parte trasera de la grada, y:

$$A_c = 2,57 \text{ m}^2$$

será el área proyectada de la estructura lateral que soporta la grada, la cual se ha calculado haciendo uso de la herramienta "Área" del programa AutoCAD 2020.

Ahora calculamos las áreas proyectadas de los elementos teniendo en cuenta que en nuestro caso no se han dispuesto cartelas, las cuales son una pieza de chapa que sirve para reforzar una unión:

$$A = \sum_i b_i \cdot l_i = 0,487 \text{ m}^2$$

para la estructura lateral, y:

$$A = \sum_i b_i \cdot l_i = 0,862 \text{ m}^2$$

para la estructura trasera.

Con estos datos ya podemos hallar la relación de solidez para la zona lateral:

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{0,487}{2,57} = 0,189$$

y para la zona trasera:

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{0,862}{8,448} = 0,102$$

La gráfica que se utiliza para obtener el coeficiente de fuerza se basa en valores del número de Reynolds con una velocidad:

$$v = \sqrt{\frac{2q_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1114,32 \frac{kg}{m \cdot s^2}}{1,25 \frac{kg}{m^3}}} = 42,22 \frac{m}{s}$$

Con esta velocidad ya podemos obtener el número de Reynolds aplicando la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{b \cdot v}{\nu}$$

donde b es el ancho del elemento estructural del que está fabricada la estructura que en nuestro caso al ser cuadrado 40x40x2 son 40 mm, y ν es la viscosidad cinemática del aire que la norma UNE-EN 1991-1-4 valora en $15 \cdot 10^{-6} m^2/s$.

$$Re = \frac{b \cdot v}{\nu} = \frac{0,04 m \cdot 42,22 m/s}{15 \cdot 10^{-6} m^2/s} = 112586,7 = 1,13 \cdot 10^5$$

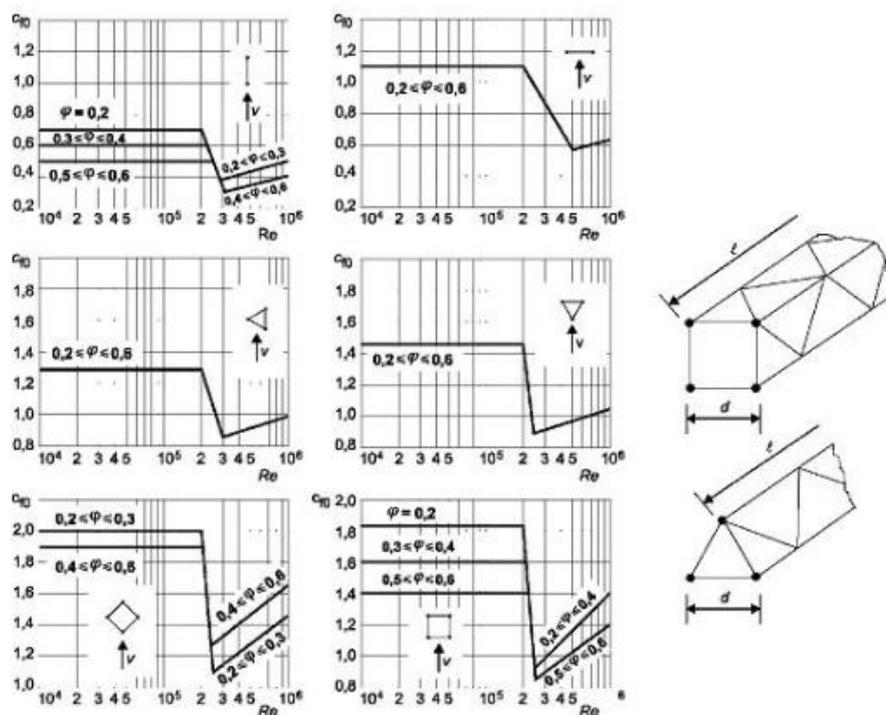


Figura 20: Coeficiente de fuerza $c_{f,0}$ para estructuras de celosía planas y tridimensionales con elementos de sección transversal circular

Llegados a este punto descubrimos que en las gráficas donde debemos obtener el coeficiente de fuerza tienen como valor mínimo de relación de solidez 0,2, mientras que nuestro máximo valor es de 0,189. Además, vemos que en la descripción de la figura se indica que estos valores son para celosías compuestas por elementos de sección transversal circular, mientras que nosotros utilizaremos perfiles cuadrados.

Por esto decidimos calcular el coeficiente de fuerza de acuerdo con el apartado “Elementos estructurales con sección rectangular” de la norma UNE-EN 1991-1-4: 2018.

En este capítulo de la norma la expresión que se usa para calcular el coeficiente de fuerza es el siguiente:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

donde $c_{f,0}$ es el coeficiente de fuerza para secciones rectangulares con esquinas vivas y sin considerar el flujo libre de cola de la sección. Su valor se extrae de la siguiente gráfica sabiendo que el cociente entre d y b al ser un cuadrado es 1.

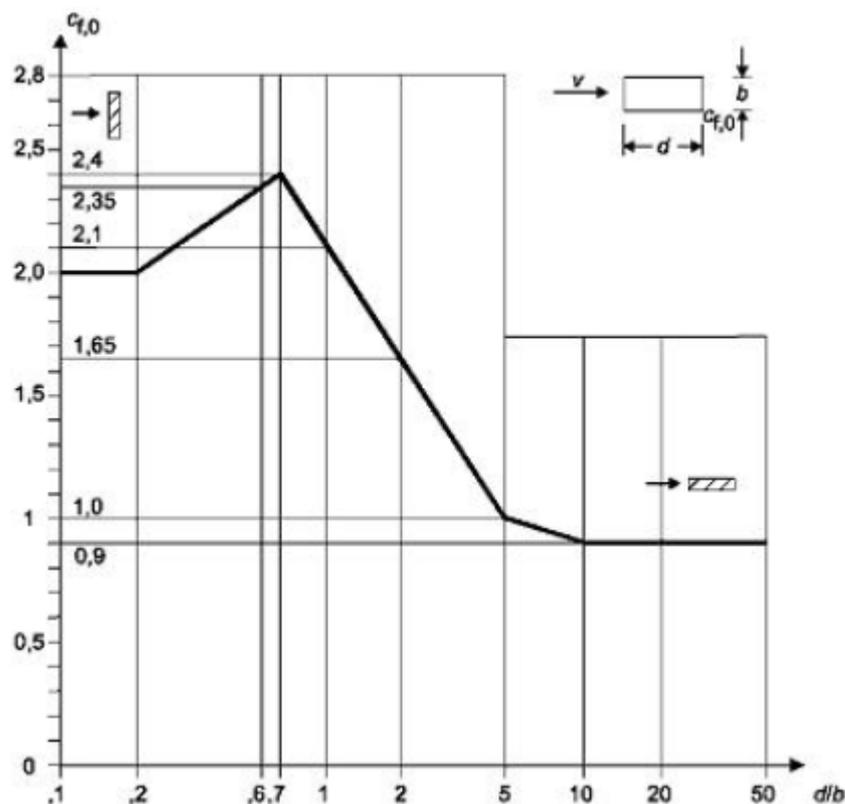


Figura 21: Coeficientes de fuerza $c_{f,0}$ para secciones rectangulares con esquinas vivas y sin considerar el flujo libre de cola

El valor que obtenemos es $c_{f,0} = 2,1$.

Ψ_r es el factor de reducción para secciones rectangulares con esquinas redondeadas que depende del número de Reynolds. El valor de este factor se consigue con la siguiente gráfica, la cual se ha calculado en condiciones de baja turbulencia y por lo tanto son coeficientes que se consideran seguros.

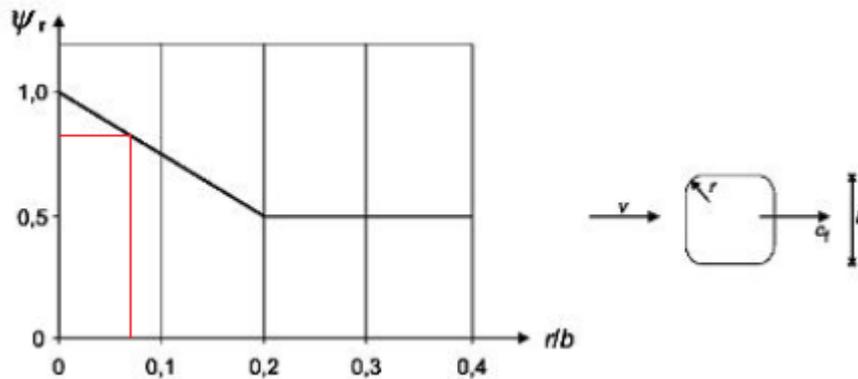


Figura 22: Factor de reducción para secciones transversales cuadradas con esquinas redondeadas

Para un radio de 3 mm y un lado de 40 mm tenemos un cociente de 0,075, lo que aproximadamente nos da un factor de reducción de 0,8.

Por último, tenemos Ψ_λ que es el factor del efecto cola para elementos con flujo libre de cola, el cual depende de la esbeltez efectiva λ , la cual a su vez depende de las dimensiones de la estructura y de su posición, y que se puede hallar en la siguiente tabla.

No.	Posición de la estructura Dirección del viento normal al plano de la hoja	Esbeltez efectiva λ
1		En secciones poligonales, rectangulares, con bordes vivos y estructuras de celosía: si $\ell \geq 50$ m, el menor valor de $\lambda = 1,4 \ell/b$ o $\lambda = 70$
2		si $\ell < 15$ m, el menor valor de $\lambda = 2 \ell/b$ o $\lambda = 70$ En cilindros circulares: si $\ell \geq 50$, el menor valor de $\lambda = 0,7 \ell/b$ o $\lambda = 70$, si $\ell < 15$ m, el menor valor de $\lambda = \ell/b$ o $\lambda = 70$,
3		Para valores intermedios de ℓ , se debería utilizar la interpolación lineal
4		si $\ell \geq 50$ m, el mayor valor de $\lambda = 0,7 \ell/b$ o $\lambda = 70$, si $\ell < 15$ m, el mayor valor de $\lambda = \ell/b$ o $\lambda = 70$ Para valores intermedios de ℓ , se debería utilizar la interpolación lineal

Figura 23: Valores recomendados de λ para cilindros, secciones poligonales, secciones rectangulares, secciones estructurales con bordes vivos y estructuras de celosía

En nuestro caso todas las vigas miden menos de 15 m por lo que tenemos que escoger el menor valor entre $\lambda = 2 \cdot l/b$ o $\lambda = 70$. Como sabemos que el espesor de los perfiles que componen nuestra estructura es de 40 mm hemos podido calcular que las vigas que miden más de 1400 mm adoptarán el valor de $\lambda = 70$ mientras que el resto de las barras se deberían calcular una a una, pero como podemos observar en la siguiente gráfica, los valores de relación

de solidez cercanos a 0,1 como es en nuestro caso, adoptan para todos los valores de esbeltez valores de Ψ_λ muy próximos a 1, por lo que escogeremos este valor que además queda del lado de la seguridad.

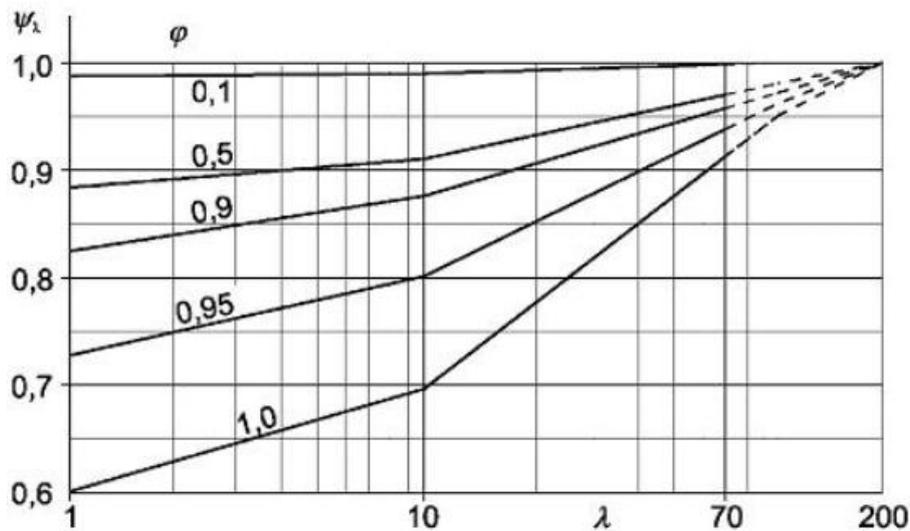


Figura 24: Valores indicativos del factor del efecto cola Ψ_λ en función de la relación de solidez φ y la esbeltez λ

Con todo esto ya podemos calcular el coeficiente de fuerza para elementos estructurales de sección rectangular:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda = 2,1 \cdot 0,8 \cdot 1 = \mathbf{1,68}$$

Cuando se calculen las fuerzas que aparecen sobre los elementos estructurales veremos que se utiliza la presión correspondiente a la velocidad de pico, y que este valor depende de una altura de referencia z_e , la cual la norma indica en este apartado de elementos estructurales con sección rectangular que es la altura máxima sobre el terreno de la sección considerada. Para ello se elaborará una plantilla en Excel donde se obtendrán las diferentes fuerzas que aparecen en cada elemento estructural de nuestra grada, considerando para cada uno la altura máxima que alcanza ese elemento.

También esta normativa detalla que para las secciones tipo placa, es decir elementos con un cociente entre d y b inferior a 0,2, como es en nuestra grada el caso de las chapas que se ubican debajo de los asientos y las pasarelas que forman los pasillos entre filas y soportan los asientos, las fuerzas de sustentación pueden dar lugar, bajo ciertos ángulos de ataque del viento, a valores más elevados del coeficiente de fuerza hasta un incremento del 25%, por lo que cuando se considere necesario realizar una evaluación local de alguno de estos elementos (ya que en el análisis global estos elementos forman parte de la grada que como ya se dijo se considerará como una marquesina a un agua) se multiplicará el coeficiente de fuerza por 1,25:

$$c_f = 1,68 \cdot 1,25 = 2,1$$

Una vez hallados los coeficientes de fuerza de la estructura portante, debemos calcular los coeficientes para la grada (entendiendo como grada la zona accesible a los espectadores), la cual se considera como una marquesina a un agua debido a que la norma no nos ofrece datos para estructuras escalonadas como es nuestro caso. Hay que tener en cuenta que las marquesinas son cubiertas de una estructura que no tienen muros permanentes como es

nuestro caso, que obviamente no están perforadas mientras que en nuestro caso las chapas poseen un área de agujeros, por lo que en realidad las acciones del viento serán menores y esta hipótesis queda del lado de la seguridad.

El primer término que veremos asociado a las marquesinas es el grado de bloqueo φ , que se puede observar en la siguiente figura, y que depende del bloqueo φ que es la relación del área de los obstáculos, tanto sean posibles o reales, que puede haber debajo de una marquesina, dividida por el área de la sección transversal bajo la marquesina, siendo ambas áreas normales a la dirección del viento.

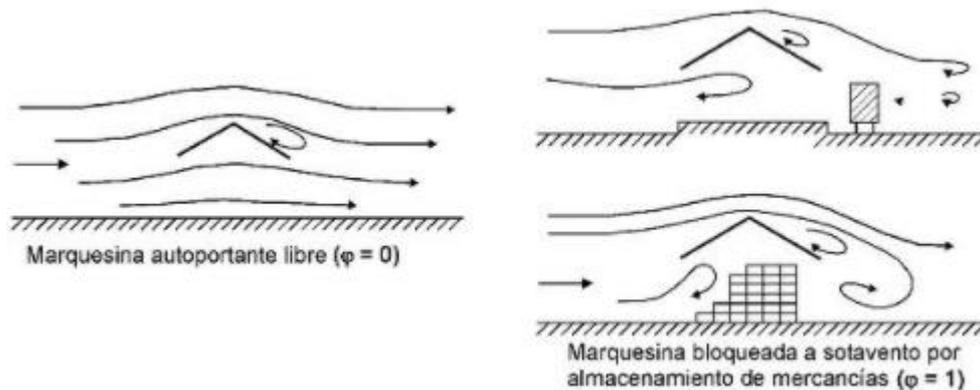


Figura 25: Flujo de aire sobre marquesinas

Un valor de $\varphi = 0$ representa una marquesina vacía, mientras que $\varphi = 1$ representa una marquesina completamente oculta bajo los aleros de esta (esto no es una edificación cerrada).[4]

Los coeficientes globales de fuerza c_f , y presión neta $c_{p,net}$, que encontramos en la siguiente tabla tanto para un bloqueo de 0 como de 1 tienen en cuenta el efecto combinado de la acción del viento sobre ambas superficies, la superior y la inferior de la marquesina para todas las direcciones de viento. Para el cálculo de los valores intermedios se puede emplear la interpolación lineal. [4]

La norma explica que a sotavento de la posición de máximo bloqueo emplearemos los valores de los coeficientes de presión neta para un bloqueo de cero.

El coeficiente global de fuerza representa la fuerza resultante sobre la estructura mientras que el coeficiente de presión neta representa la presión máxima local para todas las direcciones del viento. Esta se empleará para el cálculo de los elementos de cubierta y fijaciones. [4]

Para las marquesinas a un agua el centro de presiones está localizado a una distancia del borde de barlovento.

En la siguiente figura podemos observar la precisamente la localización recomendada del centro de fuerzas en marquesinas a un agua, además de la altura h la cual es la máxima y será la que se tomará como altura de referencia z_e .

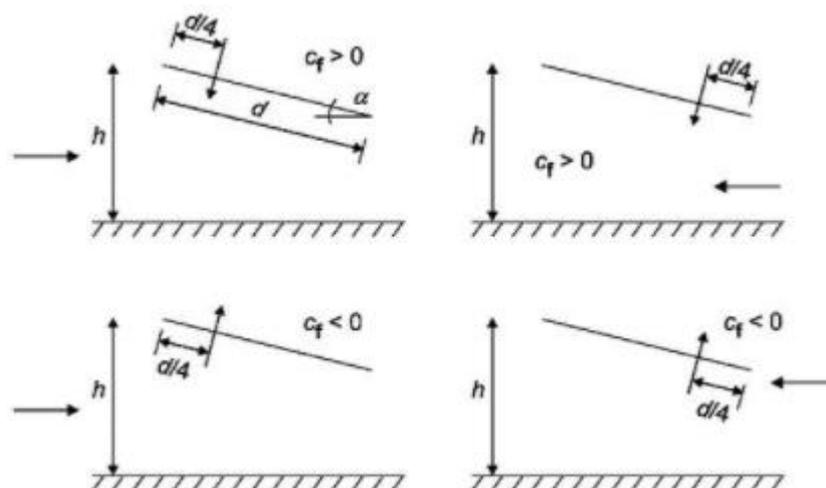
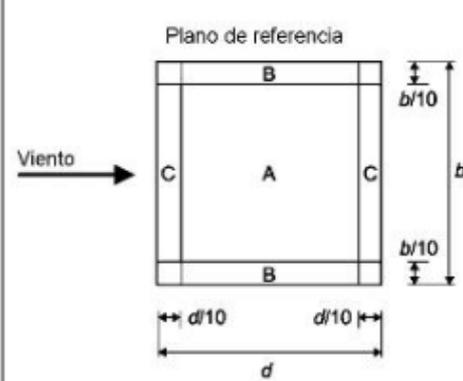


Figura 26: Localización recomendada del centro de fuerzas en marquesinas a un agua

En nuestra supuesta marquesina la distancia d sería de 3019 mm por lo que el centro de fuerzas se encontraría a unos 755 mm del borde de barlovento o sotavento dependiendo del sentido del viento y del signo del coeficiente global de fuerza.

Los valores de los coeficientes de presión neta y global de fuerza aparecen en la siguiente tabla para distintos ángulos de cubierta y para las diferentes zonas que componen la cubierta para el caso de los coeficientes de presión neta, así como para distintos valores de bloqueo.

			Coeficientes de presión neta $c_{p,net}$		
					
Ángulo de la cubierta α	Bloqueo φ	Coeficiente global de fuerza c_f	Zona A	Zona B	Zona C
0°	Valor máximo para cualquier φ	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2
5°	Valor máximo para cualquier φ	+ 0,4	+ 0,8	+ 2,1	+ 1,3
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 0,7	- 1,1	- 1,7	- 1,8
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,2	- 2,5
10°	Valor máximo para cualquier φ	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,6	- 2,7
15°	Valor máximo para cualquier φ	+ 0,7	+ 1,4	+ 2,7	+ 1,8
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 1,1	- 1,8	- 2,4	- 2,5
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
20°	Valor máximo para cualquier φ	+ 0,8	+ 1,7	+ 2,9	+ 2,1
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 1,3	- 2,2	- 2,8	- 2,9
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
25°	Valor máximo para cualquier φ	+ 1,0	+ 2,0	+ 3,1	+ 2,3
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 1,6	- 2,6	- 3,2	- 3,2
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,5	- 2,8
30°	Valor máximo para cualquier φ	+ 1,2	+ 2,2	+ 3,2	+ 2,4
	Valor mínimo para $\varphi = 0$	- 1,8	- 3,0	- 3,8	- 3,6
	Valor mínimo para $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,2	- 2,7

NOTA Los valores + indican una acción neta en sentido descendente.
Los valores - indican una acción neta en sentido ascendente.

Figura 27: Valores de $c_{p,net}$ y c_f para marquesinas a un agua

En nuestro caso particular no está del todo claro el grado de bloqueo de nuestra grada puesto que por un lado la grada llega prácticamente hasta a ras del suelo por lo que por esta parte se podría considerar que el suelo genera efectos en la estructura similares a los vistos en la figura 24 para un grado de bloqueo de 1, pero por otro lado esta parte de la grada está compuesta en gran parte por chapa perforada y no se colocará ningún obstáculo debajo de la grada por lo que se podría considerar un bloque de 0. Por este motivo se adoptan los valores máximos para



cualquier grado de bloqueo y los valores mínimos para un grado de bloqueo de 0 ya que estos son los valores más desfavorables que encontramos para ángulos de cubierta entre 25 y 30°.

Como nuestra grada tiene una inclinación de 26,6° tenemos que interpolar:

- Valor máximo para cualquier φ :

$$\frac{1,2 - 1}{30 - 25} = \frac{c_f - 1}{26,6 - 25}; c_f = 1,064$$

$$\frac{2,2 - 2}{30 - 25} = \frac{c_{p,net,A} - 2}{26,6 - 25}; c_{p,net,A} = 2,064$$

$$\frac{3,2 - 3,1}{30 - 25} = \frac{c_{p,net,B} - 3,1}{26,6 - 25}; c_{p,net,B} = 3,132$$

$$\frac{2,4 - 2,3}{30 - 25} = \frac{c_{p,net,C} - 2,3}{26,6 - 25}; c_{p,net,C} = 2,332$$

- Valor mínimo para $\varphi = 0$:

$$\frac{-1,8 + 1,6}{30 - 25} = \frac{c_f + 1,6}{26,6 - 25}; c_f = -1,664$$

$$\frac{-3 + 2,6}{30 - 25} = \frac{c_{p,net,A} + 2,6}{26,6 - 25}; c_{p,net,A} = -2,728$$

$$\frac{-3,8 + 3,2}{30 - 25} = \frac{c_{p,net,B} + 3,2}{26,6 - 25}; c_{p,net,B} = -3,392$$

$$\frac{-3,6 + 3,2}{30 - 25} = \frac{c_{p,net,C} + 3,2}{26,6 - 25}; c_{p,net,C} = -3,328$$

Las zonas correspondientes a los coeficientes de presión neta que aparecen en la anterior figura son la zona C que ocupa dos franjas de una décima parte de la anchura de la marquesina cada una, lo que en nuestro caso son $2700/10 = 270$ mm; y la zona B que dos franjas laterales que ocupan cada una décima parte del largo de la marquesina cada una, lo que numéricamente son $5120/10 = 512$ mm. La zona A es el área central encerrada por las demás zonas.

En nuestra supuesta marquesina la distancia d sería de 3019 mm por lo que el centro de fuerzas se encontraría a unos 755 mm del borde de barlovento o sotavento dependiendo del sentido del viento y del signo del coeficiente global de fuerza.

Una vez que hemos calculado los dos coeficientes la norma nos indica que debemos también considerar las fuerzas de fricción.

Coefficientes de fricción y fuerzas de fricción:

La fórmula para calcular la fuerza de fricción es la siguiente:

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

La norma nos indica que los efectos de la fricción del viento sobre la superficie se pueden despreciar cuando el área total de todas las superficies paralelas, y también aquellas que están orientadas con un ángulo lo suficientemente pequeño, a la dirección del viento es menor o



igual a cuatro veces el área total de las superficies exteriores perpendiculares al viento, tanto a sotavento como a barlovento.

Sabiendo esto es evidente que debemos considerar la fricción cuando el viento sopla hacia el lateral de la grada, ya que en este caso las superficies perpendiculares al viento son prácticamente despreciables en comparación con las paralelas ya que básicamente serían la anchura de los perfiles que componen la estructura portante. Pero en el caso de que el viento sople hacia el frontal o la parte trasera de la grada tenemos que realizar cálculos para determinar si es necesaria la aplicación de fuerzas de fricción.

Las superficies paralelas al viento son, considerando como explicamos con anterioridad la composición de dos módulos de asientos con un módulo de escaleras central, 15,296 m² cuando el viento sopla de forma frontal hacia la grada y de 23,744 m² cuando el viento incide perpendicularmente al lateral de la grada, mientras que las superficies perpendiculares harían un área total de 9,624 m², por lo tanto, también debemos considerar las fuerzas de fricción en esta situación, y de hecho en todas las direcciones del viento.

En la anterior ecuación c_{fr} es el coeficiente de fricción que para superficies suaves como la del acero tiene un valor de 0,01.

El área de referencia A_{fr} es $2 \cdot d \cdot b$ para los elementos horizontales y $2 \cdot h \cdot d$ para los elementos verticales. Estas fuerzas de fricción se deben aplicar en la parte de las superficies externas paralelas a la dirección del viento, situadas a una distancia desde las esquinas o aleros a barlovento del valor menor entre $2 \cdot b$ y $4 \cdot h$. b es el ancho del elemento, d el largo y h la altura. Si analizamos las ecuaciones para determinar el área de referencia vemos que en un elemento se consideran las dos caras que son perpendiculares al viento, por lo que sería lo mismo que multiplicar el área que determinamos anteriormente de superficies paralelas al viento por 2:

$$A_{fr1} = 15,296 \cdot 2 = 30,592 \text{ m}^2$$

$$A_{fr2} = 23,744 \cdot 2 = 47,488 \text{ m}^2$$

La altura de referencia z_e es la altura de la estructura sobre el suelo, lo que en nuestro caso son 1,93 m y que nos ofrece una presión correspondiente a la velocidad pico:

$$q_p(1,93\text{m}) = 1,114 \text{ kN/m}^2$$

Con todo esto ya podemos calcular la fuerza de fricción en la grada:

$$F_{fr1} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr1} = 0,01 \cdot 1,114 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 30,592 \text{ m}^2 = \mathbf{0,341 \text{ kN}}$$

$$F_{fr2} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr2} = 0,01 \cdot 1,114 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 47,488 \text{ m}^2 = \mathbf{0,529 \text{ kN}}$$

siendo F_{fr1} la fuerza de fricción cuando el viento sopla con una dirección perpendicular al frontal de la grada, y F_{fr2} la fuerza de fricción cuando el viento sopla con una dirección perpendicular al lateral de la grada. Esta diferencia es debida a que el área de la grada formada por los elementos verticales, que en su mayor parte son las chapas que se encuentran debajo de los asientos, cuando el viento sopla hacia el frontal o la parte trasera de la grada, se encuentran en una posición perpendicular a la dirección del viento, mientras que cuando el



viento incide sobre el lateral de la grada, la posición de estos elementos verticales es paralela al viento.

Fuerzas del viento:

Por último, podemos calcular las fuerzas del viento que actúan sobre la estructura completa y también sobre cada elemento estructural. Estas fuerzas se pueden hallar de dos formas distintas:

- Se pueden calcular directamente, tanto si actúan sobre toda la estructura como sobre un elemento estructural, aplicando la siguiente expresión:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

o mediante la suma vectorial sobre cada uno de los elementos individuales de la siguiente forma:

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{elementos}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

- O se pueden calcular hallando las fuerzas a partir de las presiones que aparecen sobre las superficies.

La fuerza debida al viento, F_w que actúa sobre una estructura o un elemento estructural se puede determinar mediante la suma vectorial de las fuerzas $F_{w,e}$, $F_{w,i}$ y F_{fr} calculadas a partir de las presiones interiores y exteriores empleando las siguientes expresiones, y las fuerzas de fricción resultantes de la fricción del viento paralela a las superficies exteriores, tal y como vimos anteriormente.[4]

Fuerzas exteriores:

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{superficies}} w_e \cdot A_{ref}$$

Fuerzas interiores:

$$F_{w,i} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{superficies}} w_i \cdot A_{ref}$$

En estas ecuaciones vemos que aparece el coeficiente $c_s c_d$ que es el factor estructural, el cual tiene en cuenta la ocurrencia no simultánea de picos de presiones de viento sobre la superficie de los elementos de la estructura, que aparece reflejado en el coeficiente c_s , y el efecto de las vibraciones de la estructura debidas a las turbulencias, que se reflejan en el coeficiente c_d .

Este factor estructural lo podemos por tanto separar en dos coeficientes, pero en nuestro caso vemos que en el anexo nacional de la norma UNE-EN 1991-1-4;2018 se explica que para estructuras con esbelteces en el plano de actuación de la acción del viento inferiores a 6, como es el caso de nuestra grada, se puede suponer que $c_s c_d = 1$, por lo que adoptaremos este valor.

De las cuatro ecuaciones anteriores aplicaremos la segunda la cual como luego se explica para la segunda metodología está compuesta de las fuerzas exteriores, interiores y de fricción. Como en nuestra grada no tenemos superficies interiores lo que haremos será calcular las

fuerzas exteriores y sumar la fuerza de fricción vectorialmente para cada uno de los elementos, considerando de esta manera para cada elemento unos coeficientes de fuerza más realistas al considerarse la altura máxima de cada elemento.

En el caso de la grada lo que se hará para el análisis global será multiplicar los coeficientes globales de fuerza de la marquesina por la presión correspondiente a la velocidad de pico aplicando esta fuerza en el centro de presiones recomendado por la normativa. El área que se tomará será el área ficticia que tendría la grada si fuese una marquesina y considerando como ya dijimos dos módulos de asientos con un módulo de escaleras central, lo que se traduce en 3018,7 mm que sería el ancho de la marquesina con una pendiente de 26,6° y 5120 mm de largo, lo que nos da una superficie de 15,46 m².

A continuación, se muestran las fuerzas que aparecen en cada una de las barras que componen la estructura portante y la fuerza ejercida por el viento sobre la grada. Se indica también la numeración que se le ha dado a cada una de las barras.

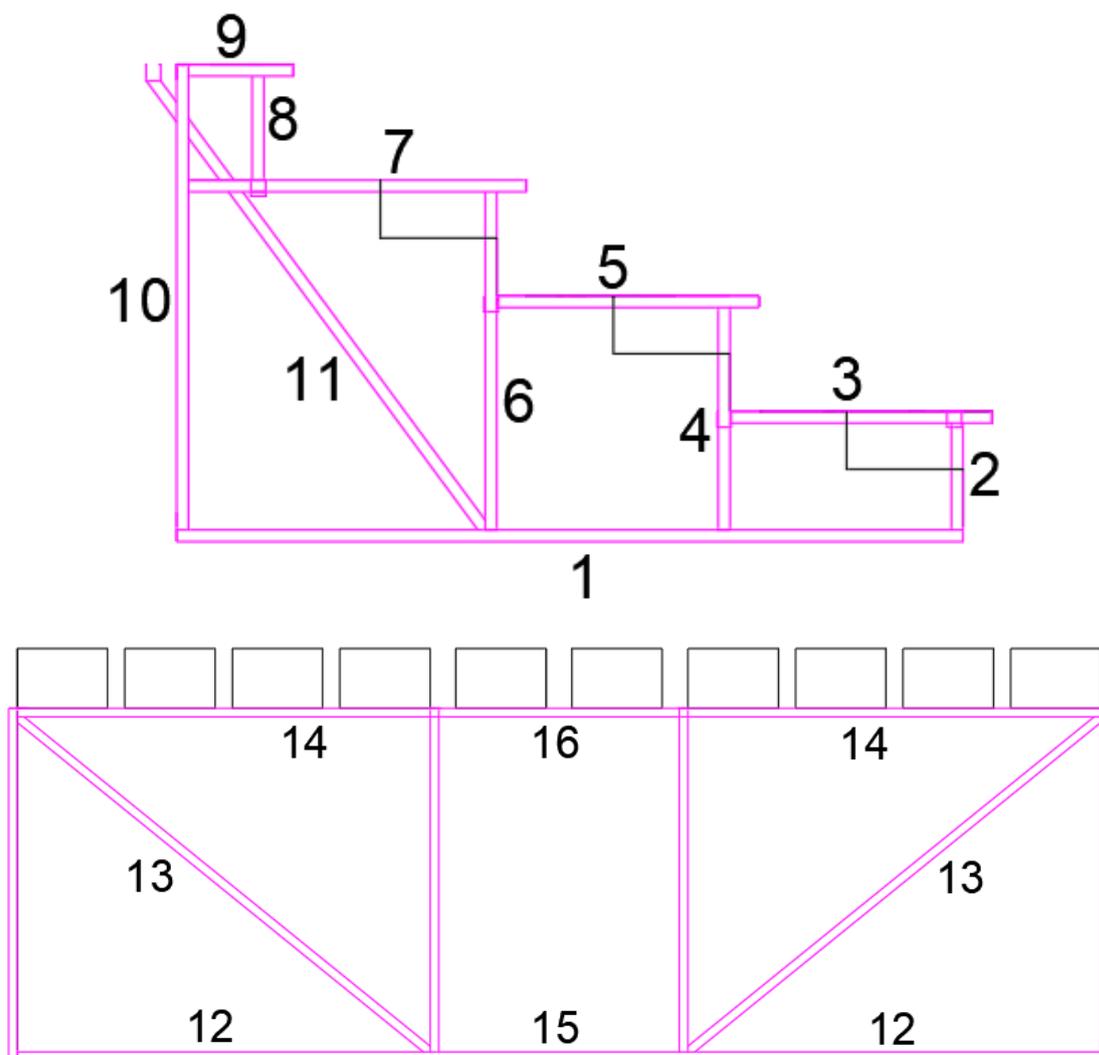


Figura 28: Numeración de las barras

Como se puede observar en la parte trasera al ser simétricas las barras que unen las estructuras portantes que soportan el módulo de asientos se les ha dado la misma numeración



puesto que no afecta esta simetría a las acciones que produce el viento. Ahora veremos los valores extraídos para cada una de estas barras junto con la grada considerada como una marquesina:



BARRA 1	LATERAL
---------	---------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,04 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,404174
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	11,721 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,3861

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,318 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	2700 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,216 m ²
F_{fr}	0,000687 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,057680988 kN
A_{ref}	0,108 m ²
F_w	0,0584 kN
F_w/A_{ref}	0,540 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 2	LATERAL
---------	---------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,41 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,767313
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	22,252 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,2034

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,750 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	360 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,0288 m ²
F_{fr}	0,000216 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,018143927 kN
A_{ref}	0,0144 m ²
F_w	0,0184 kN
F_w/A_{ref}	1,275 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 3	LATERAL
---------	---------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,45 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,781838
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	22,673 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1996

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,770 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	900 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,072 m ²
F_{fr}	0,000555 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,046579513 kN
A_{ref}	0,036 m ²
F_w	0,0471 kN
F_w/A_{ref}	1,309 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 4	LATERAL
---------	---------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,81 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,873554
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	25,333 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1786

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,903 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	770 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,0616 m ²
F_{fr}	0,000556 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,0467053 kN
A_{ref}	0,0308 m ²
F_w	0,0473 kN
F_w/A_{ref}	1,534 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 5	LATERAL
---------	---------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,85 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,881075
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	25,551 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1771

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,914 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

c_f	1,68 BARRA
-------	-------------------

c_f	2,1 PASARELA
-------	--------------

c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
-------	---

c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$
-------	--------------------------------------

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	900 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,072 m ²
F_{fr}	0,000658 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,055271297 kN
A_{ref}	0,036 m ²
F_w	0,0559 kN
F_w/A_{ref}	1,554 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 6	LATERAL
---------	---------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
C_{dir}	1
C_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,21 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,936178
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	27,149 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1667

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,998 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	1170 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,0936 m ²
F_{fr}	0,000934 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,078478211 kN
A_{ref}	0,0468 m ²
F_w	0,0794 kN
F_w/A_{ref}	1,697 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 7	LATERAL
---------	---------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,25 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,941253
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	27,296 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1658

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,006 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	1160 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,0928 m ²
F_{fr}	0,000934 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,078424947 kN
A_{ref}	0,0464 m ²
F_w	0,0794 kN
F_w/A_{ref}	1,710 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 8	LATERAL
---------	---------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,61 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,980744
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	28,442 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1591

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,069 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	360 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,0288 m ²
F_{fr}	0,000308 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,025852432 kN
A_{ref}	0,0144 m ²
F_w	0,0262 kN
F_w/A_{ref}	1,817 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 9	LATERAL
---------	---------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
C_{dir}	1
C_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,65 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,984573
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	28,553 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1585

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,075 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	360 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,0288 m ²
F_{fr}	0,000310 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,026001313 kN
A_{ref}	0,0144 m ²
F_w	0,0263 kN
F_w/A_{ref}	1,827 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 10	LATERAL
----------	---------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,65 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,984573
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	28,553 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1585

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,075 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	1610 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,1288 m ²
F_{fr}	0,001384 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,116283652 kN
A_{ref}	0,0644 m ²
F_w	0,1177 kN
F_w/A_{ref}	1,827 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 11	LATERAL
----------	---------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
C_{dir}	1
C_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,595 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,979283
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	28,399 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1593

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,066 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	1928 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,15424 m ²
F_{fr}	0,001645 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,138150537 kN
A_{ref}	0,07712 m ²
F_w	0,1398 kN
F_w/A_{ref}	1,813 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 12	P. TRASERA
----------	------------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,04 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,404174
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	11,721 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,3861

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,318 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	1920 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,1536 m ²
F_{fr}	0,000488 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,041017592 kN
A_{ref}	0,0768 m ²
F_w	0,0415 kN
F_w/A_{ref}	0,540 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 13	P. TRASERA
----------	------------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
C_{dir}	1
C_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,61 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,980744
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	28,442 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1591

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,069 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	2439 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,19512 m ²
F_{fr}	0,002085 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,175150223 kN
A_{ref}	0,09756 m ²
F_w	0,1772 kN
F_w/A_{ref}	1,817 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 14	P. TRASERA
----------	------------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,65 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,984573
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	28,553 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1585

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,075 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	1920 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,1536 m ²
F_{fr}	0,001651 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,138673672 kN
A_{ref}	0,0768 m ²
F_w	0,1403 kN
F_w/A_{ref}	1,827 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 15	P. TRASERA
----------	------------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,04 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,404174
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	11,721 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,3861

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,318 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	1120 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,0896 m ²
F_{fr}	0,000285 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,023926929 kN
A_{ref}	0,0448 m ²
F_w	0,0242 kN
F_w/A_{ref}	0,540 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



BARRA 16	P. TRASERA
----------	------------

Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,65 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,984573
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	28,553 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
--------------	--

k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1585

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,075 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	1120 mm
b	40 mm
A_{fr}	0,0896 m ²
F_{fr}	0,000963 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,080892975 kN
A_{ref}	0,0448 m ²
F_w	0,0819 kN
F_w/A_{ref}	1,827 kN/m ²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



MARQUESINA	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,93 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	1,009031
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	29,262 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1546

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,114 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
d	mm
b	mm
A_{fr1}	30,592 m ²
A_{fr2}	47,488 m ²
F_{fr1}	0,3409 kN
F_{fr2}	0,5292 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
$c_s c_d$	1



$F_{w,e}$	18,332 kN	$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$
	-28,670 kN	
A_{ref}	15,46 m ²	
$F_{w,1}$	18,6732 kN	viento soplando frontalmente
	-28,3290 kN	
F_{w1}/A_{ref}	1,208 kN/m ²	
$F_{w,2}$	0,5292 kN	viento soplando lateralmente
F_{w2}/A_{ref}	0,034 kN/m ²	

Consideraremos tres direcciones de viento, cuyas acciones se combinarán con el resto de las acciones permanentes y transitorias:

Dirección 1: Cuando sople el viento de frente a la grada (0°)

Dirección 2: Cuando el viento sople hacia la parte trasera de la grada (0° pero en sentido contrario).

Dirección 3: Cuando el viento sople hacia el lateral de la grada (90°)

En la **dirección 1** tenemos como única fuerza la provocada en la grada cuando el viento sopla frontalmente, es decir 18,67 y -28,33 kN los cuales están aplicados tal y como se puede observar en la figura 25. Como podemos ver el mayor valor absoluto es para cuando la marquesina tiene un grado de bloqueo de cero, por lo que nos quedamos con el valor de

-28,33 kN. Este valor hay que tener en cuenta que tiene una pendiente puesto que se está considerando una marquesina con una pendiente de 26,6°, por lo que la componente horizontal de esta fuerza será:

$$28,33 \cdot \text{sen}(26,6^\circ) = \mathbf{12,685 \text{ kN}}$$

Cuando se realice la comprobación de vuelco esta fuerza estará aplicada tal y como se indica en la figura 25 a una distancia de d/4 desde el borde de barlovento, lo que se traduce en una altura de 572 mm.

En la **dirección 2** tenemos la fuerza que se ejerce sobre la grada cuando el viento sopla en sentido hacia la parte trasera de la estructura, y la fuerza que aparece sobre cada uno de los elementos situados en la parte trasera que forman parte de la estructura portante, los cuales son las barras 10 (4 uds.), 12 (2 uds.), 13 (2 uds.), 14 (2 uds.), 15 y 16.

La fuerza que se ejerce sobre la marquesina es la misma que en la dirección 1 (12,685 kN) solo que en sentido contrario y situada en otra posición, tal y como podemos ver en la figura 25. Esta posición se encontrará a una altura de 1247 mm para cuando realicemos el momento de vuelco que provoca el viento.

La fuerza que aparece en cada una de las barras son las siguientes:

Barra 10: 0,1177 kN a una altura de 1,65 m. Las 4 barras serían 0,4708 kN.

Barra 12: 0,0415 kN a una altura de 0,04 m. Las 2 barras serían 0,083 kN.

Barra 13: 0,1772 kN a una altura de 1,61 m. Las 2 barras serían 0,3544 kN.

Barra 14: 0,1403 kN a una altura de 1,65 m. Las 2 barras serían 0,2806 kN.

Barra 15: 0,0242 kN a una altura de 0,04 m.

Barra 16: 0,0819 kN a una altura de 1,65 m.

En total tendremos una fuerza horizontal de **13,98 kN**, que para simplificar los cálculos y considerando que la mayor parte de esta fuerza se debe a la ejercida sobre la grada se considerará que se aplica a una altura de 1,247 m cuando realicemos la comprobación contra el vuelco.

Cuando el análisis se realice utilizando CYPE 3D se puede simular tanto introduciendo estas fuerzas vistas con anterioridad a la altura indicada, como introduciendo las presiones que aparecen en las superficies consiguiendo unos resultados más realistas, los cuales serán menores que los realizados aplicando las consideraciones anteriores y obteniendo unos valores no tan desfavorables.

En la **dirección 3** tendremos la fuerza de fricción como única fuerza que afecta a la grada (0,5292 kN), más las fuerzas que aparecen en la estructura portante, la cual está compuesta de las barras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11, las cuales reciben las siguientes fuerzas:

Barra 1: 0,0584 kN

Barra 2: 0,0184 kN

Barra 3: 0,0471 kN

Barra 4: 0,0473 kN

Barra 5: 0,0559 kN

Barra 6: 0,0794 kN

Barra 7: 0,0794 kN

Barra 8: 0,0262 kN

Barra 9: 0,0263 kN

Barra 10: 0,1177 kN

Barra 11: 0,1398 kN

Con lo que en total tenemos una fuerza horizontal de **1,33 kN**.

Considerando la magnitud de esta fuerza debida al viento y la del peso propio de la estructura, junto con las distancias que generan los momentos estabilizador y desestabilizador se considera imposible que se pueda generar un vuelco en esta dirección.

Analizando los resultados obtenidos se llega a la conclusión de que la hipótesis de considerar la grada como una marquesina es una situación demasiado desfavorable ya que gran parte de esta área ficticia de la marquesina es debida a elementos horizontales de la grada, los cuales solo generan fuerzas de fricción, las cuales son fuerzas mucho menores que las debidas al viento sobre elementos verticales. Además, también hay que considerar el hecho de que las chapas que forman la grada están perforadas, lo cual en parte alivia las fuerzas que aparecen sobre esta parte de la estructura. Es por esto por lo que se van a realizar de nuevo los cálculos de la grada considerando los elementos verticales que componen esta parte de la estructura

como elementos estructurales de sección rectangular, tal y como hicimos con los elementos que forman la estructura portante, solo que al tratarse de chapas el coeficiente de fuerza será un 25% mayor que en los perfiles estructurales. Esto afectará exclusivamente cuando el viento sople con una dirección de 0° por lo que el cálculo realizado en la dirección 3 se considera correcto. En cuanto a los elementos horizontales que componen la grada se considerará que reciben tan solo fuerzas de fricción, las cuales ya se han calculado.

Se muestra a continuación la numeración escogida para cada uno de los elementos de la grada:

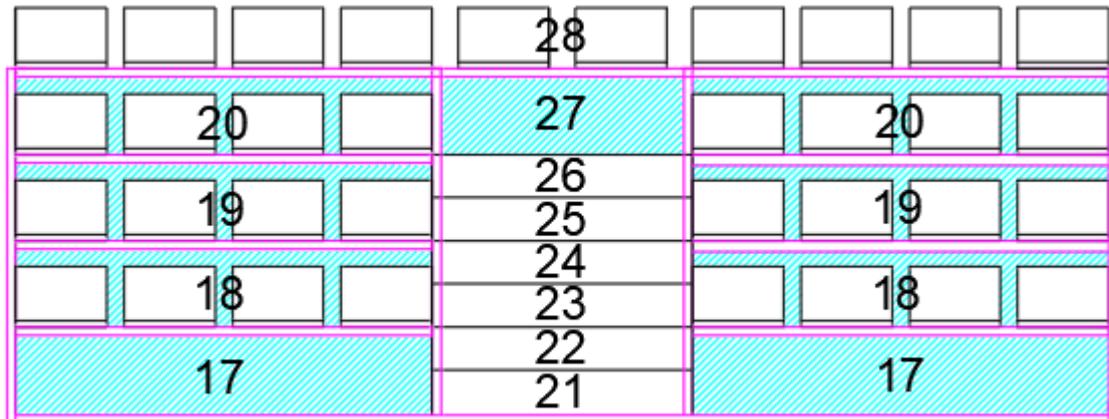


Figura 29: Numeración de los elementos de la grada

Como podemos ver los asientos ocultan parte de las chapas frente a la acción del viento, pero a su vez los propios asientos sufren los efectos del viento por lo que se considerará como si estos fueran chapa sin perforaciones mientras que el área de las chapas será el área en la que no hay agujeros. En el caso de los asientos de la última fila se considerará como si hubiese una chapa que tuviese la misma área que ocupan los asientos. Para simplificar los cálculos se considerará que los elementos estructurales que se pueden ver en color morado forman parte de las chapas, lo cual queda del lado de la seguridad puesto que el coeficiente global de fuerza es mayor en las chapas que en las barras.

A continuación, se muestran los valores obtenidos para cada uno de los elementos:



CHAPA 17	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,45 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,781838
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	22,673 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1996

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,770 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
c_{fr}	0,01
h	450 mm
b	1960 mm
A_{fr}	1,764 m ²
F_{fr}	0,013586 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,528 kN
A_{ref}	0,32634 m ²
F_w	0,5414 kN
F_w/A_{ref}	1,659 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



CHAPA 18	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,85 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,881075
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	25,551 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1771

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,914 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
h	400 mm
b	1960 mm
A_{fr}	1,568 m ²
F_{fr}	0,014330 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	1,125 kN
A_{ref}	0,586 m ²
F_w	1,1389 kN
F_w/A_{ref}	1,944 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



CHAPA 19	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,25 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,941253
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	27,296 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1658

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
---	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,006 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
-------------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
---------------------------	--

c_{fr}	0,01
h	400 mm
b	1960 mm
A_{fr}	1,568 m ²
F_{fr}	0,015775 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
--------------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	1,238 kN
A_{ref}	0,586 m ²
F_w	1,2538 kN
F_w/A_{ref}	2,140 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



CHAPA 20	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,65 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$$c_r(z) = 0,984573$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$v_m(z) = \mathbf{28,553 \text{ m/s}}$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1585

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,075 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
c_{fr}	0,01
h	400 mm
b	1960 mm
A_{fr}	1,568 m ²
F_{fr}	0,016853 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	1,323 kN
A_{ref}	0,586 m ²
F_w	1,3395 kN
F_w/A_{ref}	2,286 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



CHAPA 21	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,25 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,690123
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	20,014 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,2261

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
---	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,647 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
-------------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
---------------------------	--

c_{fr}	0,01
h	250 mm
b	1200 mm
A_{fr}	0,6 m ²
F_{fr}	0,003879 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
--------------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,314 kN
A_{ref}	0,231 m ²
F_w	0,3175 kN
F_w/A_{ref}	1,375 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



CHAPA 22	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,45 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,781838
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	22,673 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1996

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
--	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,770 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
--------------------	--

c_{fr}	0,01
h	200 mm
b	1200 mm
A_{fr}	0,48 m ²
F_{fr}	0,003697 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
-------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,299 kN
A_{ref}	0,1848 m ²
F_w	0,3026 kN
F_w/A_{ref}	1,637 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



CHAPA 23	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,65 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,839217
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	24,337 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1859

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,852 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
c_{fr}	0,01
h	200 mm
b	1200 mm
A_{fr}	0,48 m ²
F_{fr}	0,004090 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,331 kN
A_{ref}	0,1848 m ²
F_w	0,3347 kN
F_w/A_{ref}	1,811 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



CHAPA 24	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	0,85 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$$c_r(z) = 0,881075$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$v_m(z) = \mathbf{25,551 \text{ m/s}}$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1771

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,914 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
c_{fr}	0,01
h	200 mm
b	1200 mm
A_{fr}	0,48 m ²
F_{fr}	0,004387 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,355 kN
A_{ref}	0,1848 m ²
F_w	0,3590 kN
F_w/A_{ref}	1,943 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



CHAPA 25	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,05 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$$c_r(z) = 0,914047$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$v_m(z) = \mathbf{26,507 \text{ m/s}}$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1707

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	0,964 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
c_{fr}	0,01
h	200 mm
b	1200 mm
A_{fr}	0,48 m ²
F_{fr}	0,004627 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,374 kN
A_{ref}	0,1848 m ²
F_w	0,3787 kN
F_w/A_{ref}	2,049 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



CHAPA 26	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,25 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$$c_r(z) = 0,941253$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$v_m(z) = \mathbf{27,296 \text{ m/s}}$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1658

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,006 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
c_{fr}	0,01
h	200 mm
b	1200 mm
A_{fr}	0,48 m ²
F_{fr}	0,004829 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,390 kN
A_{ref}	0,1848 m ²
F_w	0,3953 kN
F_w/A_{ref}	2,139 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



CHAPA 27	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,65 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	0,984573
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

$v_m(z)$	28,553 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1585

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,075 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
c_{fr}	0,01
h	400 mm
b	1200 mm
A_{fr}	0,96 m ²
F_{fr}	0,010318 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	0,401 kN
A_{ref}	0,1776 m ²
F_w	0,4112 kN
F_w/A_{ref}	2,315 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$



CHAPA 28	GRADA
Velocidad básica del viento	
$v_{b,0}$	29 m/s
c_{dir}	1
c_{season}	1
v_b	29 m/s

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

Velocidad media del viento	
$c_o(z)$	1

z	1,93 m
$z_{0,II}$	0,05 m
z_0	0,003 m
k_r	0,156

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$c_r(z)$	1,009031
----------	----------

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$v_m(z)$	29,262 m/s
----------	-------------------

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

Turbulencias	
k_l	1
σ_v	4,525 m/s
$I_v(z)$	0,1546

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}$$

Presión correspondiente a la velocidad de pico	
---	--

ρ	1,25 kg/m ³
$q_p(z)$	1,114 kN/m²

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Coeficientes de fuerza	
-------------------------------	--

$c_{f,0}$	2,1
Ψ_r	0,8
Ψ_λ	1
c_f	1,68 BARRA
c_f	2,1 PASARELA
c_f	1,064 MARQUESINA para cualquier φ
c_f	-1,664 MARQUESINA para $\varphi = 0$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_r \cdot \Psi_\lambda$$

Fuerza de fricción	
---------------------------	--

c_{fr}	0,01
h	280 mm
b	4200 mm
A_{fr}	2,352 m ²
F_{fr}	0,026212 kN

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr}$$

Fuerza del viento	
--------------------------	--

$c_s c_d$	1
$F_{w,e}$	2,752 kN
A_{ref}	1,176 m ²
F_w	2,7785 kN
F_w/A_{ref}	2,363 kN/m²

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

Con esto ya podemos calcular de nuevo las fuerzas que aparecen en la dirección 1 y 2.

En la **dirección 1** tendremos el sumatorio de las fuerzas que aparecen en cada uno de los elementos que forman la grada, es decir en las chapas 17 (2 uds.), 18 (2 uds.), 19 (2 uds.), 20 (2 uds.), 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28, además de la fuerza de fricción cuando el viento sopla frontalmente.

Chapa 17: 0,5414 kN a una altura de 0,45 m. Las 2 chapas serían 1,0828 kN.

Chapa 18: 1,1389 kN a una altura de 0,85 m. Las 2 chapas serían 2,2778 kN.

Chapa 19: 1,2538 kN a una altura de 1,25 m. Las 2 chapas serían 2,5076 kN.

Chapa 20: 1,3395 kN a una altura de 1,65 m. Las 2 chapas serían 2,679 kN.

Chapa 21: 0,3175 kN a una altura de 0,25 m.

Chapa 22: 0,3026 kN a una altura de 0,45 m.

Chapa 23: 0,3347 kN a una altura de 0,65 m.

Chapa 24: 0,3590 kN a una altura de 0,85 m.

Chapa 25: 0,3787 kN a una altura de 1,05 m.

Chapa 26: 0,3953 kN a una altura de 1,25 m.

Chapa 27: 0,4112 kN a una altura de 1,65 m.

Chapa 28: 2,7785 kN a una altura de 1,93 m.

La fuerza de fricción que aparece en los elementos horizontales es de 0,3409 kN.

Por tanto, la fuerza total horizontal que aparece en esta dirección es de **14,17 kN**.

En la **dirección 2** tenemos, además de la misma fuerza que en la dirección 1 (14,17 kN), la fuerza que aparece en los elementos de la estructura portante situados en la parte trasera (1,295 kN), lo que nos da una fuerza total de **15,46 kN**.

Vemos que la fuerza horizontal es incluso mayor que en la hipótesis de la marquesina, pero la diferencia es que en la comprobación ante el vuelco podemos descomponer cada una de las fuerzas que aparecen en los elementos en un momento desestabilizador con su altura correspondiente, mientras que en el anterior caso tan solo teníamos un centro de fuerzas recomendado por la normativa que no reflejaba la realidad de nuestra grada.

Comprobación frente al vuelco:

En la norma UNE-EN 1991-1-4 se nos indica que debemos considerar la combinación de carga más desfavorable de carga estática, en nuestro caso peso propio, sobrecarga de uso y cargas debidas al viento y comprobar si no se produce un vuelco de la estructura. En nuestro caso la situación más desfavorable se dará cuando no haya nadie subido en la grada, puesto que el peso de las personas actúa en favor del momento estabilizador, y cuando el viento sopla en la dirección 2, ya que es cuando tenemos una mayor fuerza horizontal y la distancia entre los husillos que sirven de base es la menor. En esta comprobación se debe mayorar con un



coeficiente de seguridad de 1,5 al momento desestabilizador. Las fórmulas para llevar a cabo esta comprobación son las siguientes:

$$M_k = F_w \cdot h_m \cdot 1,5$$

$$M_s = F_G \cdot \frac{a}{2}$$

$$M_k < M_s$$

donde F_w es la fuerza debida al viento, h_m es la altura media respecto del suelo del elemento considerado, a es la distancia entre apoyos, y F_G es la fuerza que ejerce el peso propio de la estructura. La estructura no tendrá riesgo de volcar cuando el momento desestabilizador M_k sea menor al momento estabilizador M_s .

Esta comprobación se realizará considerando la configuración de dos módulos de asientos con un módulo de escaleras central. El momento estabilizador en este caso es:

$$M_s = F_G \cdot \frac{a}{2} = 9830 \text{ N} \cdot \frac{2,7 \text{ m}}{2} = 13270,5 \text{ Nm}$$

Para hallar el momento desestabilizador lo que se realizará será calcular el momento desestabilizador que aparece en cada uno de los elementos cuando el viento sopla en la dirección 2:

Barra 10:

$$M_{k,10} = F_{w,10} \cdot h_{m,10} \cdot 1,5 = 470,8 \text{ N} \cdot \frac{1,65 \text{ m}}{2} \cdot 1,5 = 582,6 \text{ Nm}$$

Barra 12:

$$M_{k,12} = F_{w,12} \cdot h_{m,12} \cdot 1,5 = 83 \text{ N} \cdot \frac{0,04 \text{ m}}{2} \cdot 1,5 = 2,5 \text{ Nm}$$

Barra 13:

$$M_{k,13} = F_{w,13} \cdot h_{m,13} \cdot 1,5 = 354,4 \text{ N} \cdot \frac{1,61 \text{ m}}{2} \cdot 1,5 = 427,9 \text{ Nm}$$

Barra 14:

$$M_{k,14} = F_{w,14} \cdot h_{m,14} \cdot 1,5 = 280,6 \text{ N} \cdot 1,63 \text{ m} \cdot 1,5 = 686,1 \text{ Nm}$$

Barra 15:

$$M_{k,15} = F_{w,15} \cdot h_{m,15} \cdot 1,5 = 24,2 \text{ N} \cdot \frac{0,04 \text{ m}}{2} \cdot 1,5 = 0,7 \text{ Nm}$$

Barra 16:

$$M_{k,16} = F_{w,16} \cdot h_{m,16} \cdot 1,5 = 81,9 \text{ N} \cdot 1,63 \text{ m} \cdot 1,5 = 200,2 \text{ Nm}$$

Chapa 17:

$$M_{k,17} = F_{w,17} \cdot h_{m,17} \cdot 1,5 = 1082,8 \text{ N} \cdot \frac{0,45 \text{ m}}{2} \cdot 1,5 = 365,4 \text{ Nm}$$

Chapa 18:

$$M_{k,18} = F_{w,18} \cdot h_{m,18} \cdot 1,5 = 2277,8 \text{ N} \cdot 0,63 \text{ m} \cdot 1,5 = 2152,5 \text{ Nm}$$



Chapa 19:

$$M_{k,19} = F_{w,19} \cdot h_{m,19} \cdot 1,5 = 2507,6 \text{ N} \cdot 1,03 \text{ m} \cdot 1,5 = 3874,2 \text{ Nm}$$

Chapa 20:

$$M_{k,20} = F_{w,20} \cdot h_{m,20} \cdot 1,5 = 2679 \text{ N} \cdot 1,43 \text{ m} \cdot 1,5 = 5746,5 \text{ Nm}$$

Chapa 21:

$$M_{k,21} = F_{w,21} \cdot h_{m,21} \cdot 1,5 = 317,5 \text{ N} \cdot \frac{0,25 \text{ m}}{2} \cdot 1,5 = 59,5 \text{ Nm}$$

Chapa 22:

$$M_{k,22} = F_{w,22} \cdot h_{m,22} \cdot 1,5 = 302,6 \text{ N} \cdot 0,35 \text{ m} \cdot 1,5 = 158,9 \text{ Nm}$$

Chapa 23:

$$M_{k,23} = F_{w,23} \cdot h_{m,23} \cdot 1,5 = 334,7 \text{ N} \cdot 0,55 \text{ m} \cdot 1,5 = 276,1 \text{ Nm}$$

Chapa 24:

$$M_{k,24} = F_{w,24} \cdot h_{m,24} \cdot 1,5 = 359 \text{ N} \cdot 0,75 \text{ m} \cdot 1,5 = 403,9 \text{ Nm}$$

Chapa 25:

$$M_{k,25} = F_{w,25} \cdot h_{m,25} \cdot 1,5 = 378,7 \text{ N} \cdot 0,95 \text{ m} \cdot 1,5 = 539,6 \text{ Nm}$$

Chapa 26:

$$M_{k,26} = F_{w,26} \cdot h_{m,26} \cdot 1,5 = 395,3 \text{ N} \cdot 1,15 \text{ m} \cdot 1,5 = 681,9 \text{ Nm}$$

Chapa 27:

$$M_{k,27} = F_{w,27} \cdot h_{m,27} \cdot 1,5 = 411,2 \text{ N} \cdot 1,43 \text{ m} \cdot 1,5 = 882 \text{ Nm}$$

Chapa 28:

$$M_{k,28} = F_{w,28} \cdot h_{m,28} \cdot 1,5 = 2778,5 \text{ N} \cdot 1,79 \text{ m} \cdot 1,5 = 7460,2 \text{ Nm}$$

Fuerza de fricción:

$$M_{k,fr} = F_{w,fr} \cdot h_{m,fr} \cdot 1,5 = 340,9 \text{ N} \cdot 0,953 \text{ m} \cdot 1,5 = 487,3 \text{ Nm}$$

El momento desestabilizador total será:

$$M_k = 24988 \text{ N}$$

Como podemos observar no se cumple con la comprobación frente al vuelco en la combinación más desfavorable por lo que se tomarán medidas para sujetar la estructura al suelo para evitar un posible vuelco, las cuales se verán en el capítulo 1 "Bases regulables" del Anexo III.

2.2.3. Nieve

En este apartado se van a calcular las cargas que se producirían en la estructura en caso de haber una nevada mientras estuviese montada.

Para ello se ha acudido a la norma UNE-EN 1991-1-3:2018, la cual nos ofrece la siguiente ecuación para la carga de nieve en una situación persistente/transitoria:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

donde μ_i es el coeficiente de forma de la carga de nieve, el cual para una superficie horizontal como es nuestro caso adquiere un valor de 0,8, C_e es el coeficiente de exposición el cual la normativa pondera con un valor de 1, C_t es el coeficiente térmico, el cual debido a que no es

una cubierta con una transmisión térmica especialmente alta tiene un valor de 1, y s_k es el valor característico de la carga de nieve a nivel del terreno.

Para calcular la única incógnita que nos queda, s_k , la norma nos ofrece un mapa el cual en función de la región climática en Europa que tengamos nos da una fórmula u otra.

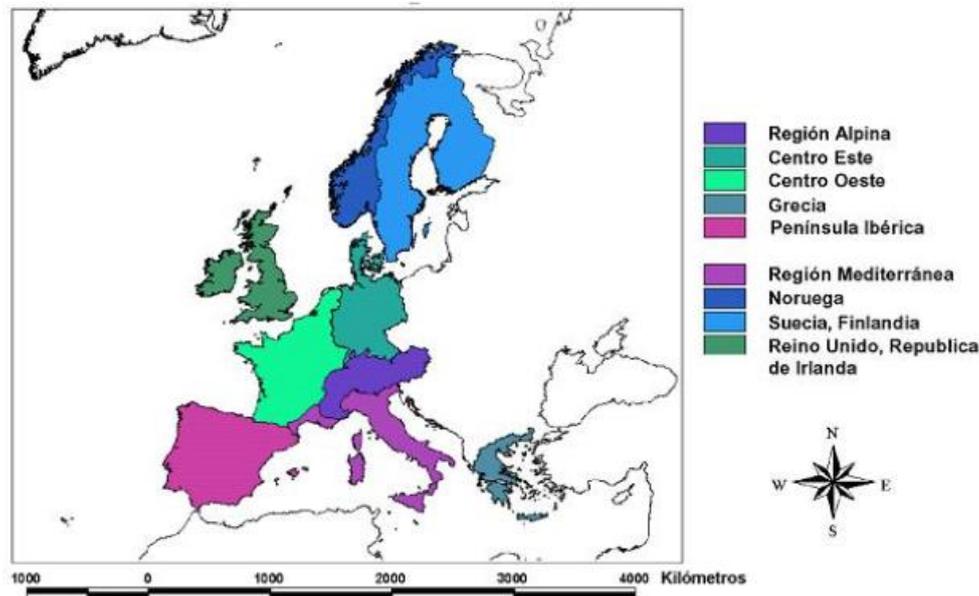


Figura 30: Regiones climáticas europeas

En el caso de la península ibérica la ecuación que tenemos es la siguiente:

$$s_k = (0,190Z - 0,095) \left[1 + \left(\frac{A}{524} \right)^2 \right]$$

pero vemos que el valor característico de la carga de nieve s_k depende de A , que es la altitud del emplazamiento sobre el nivel del mar, y que en nuestro caso es desconocido al tratarse de una estructura temporal, por lo que debemos acudir al anexo nacional de la norma UNE-EN 1991-1-3:2018.

En este anexo se nos indica que si no existen datos específicos suficientes de la zona en que se ubicará la estructura, se debe tomar como valor característico de la sobrecarga de nieve el que se indica en la siguiente tabla. Estos valores tienen validez hasta una altitud de 1800 m. [5]

Altitud [m]	Zona climática de invierno (según figura AN.1)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0
1000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0
1200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0
1400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0
1600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	4,3	0
1800	4,3	4,6	4,0	4,6	2,5	4,3	0

Tabla 3: Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal, s_k [kN/m²]

Como no sabemos la altitud donde se colocará la grada escogeremos los valores para la altitud más desfavorable, es decir para 1800 m.



Figura 31: Zonas climáticas de invierno

La zona climática, además que escogeríamos la peor de todas formas, se da el hecho de que donde está la empresa es la zona 2, la cual nos ofrece, junto con la zona 4, el valor más desfavorable de s_k que es 4,6 kN/m².

Con esto ya podemos calcular la carga de nieve que podría producirse en nuestra grada:



$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 4,6 = 3,68 \text{ kN/m}^2$$

Cuando calculamos las sobrecargas de uso vimos que la menor carga repartida que teníamos era de 4 kN/m², la cual es mayor que la carga que acabamos de calcular por lo que considerando que cuando se produzca una nevada las personas no se van a subir a la grada, ya que lógicamente no se pueden sentar en los asientos si están nevados, no se va a considerar en el resto de cálculos esta situación por ser más favorable que las sobrecargas de uso.

2.2.4. Sismo

No se realiza un estudio sísmico puesto que en las zonas cercanas a Zuera donde se encuentra la empresa, y donde con una mayor probabilidad se va a instalar estas gradas, al igual que en la mayor parte de la península y sobre todo en la parte central tenemos una aceleración sísmica básica inferior a 0,04 g, y según la norma de construcción sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02) no es obligatorio considerar el riesgo sísmico en estas circunstancias.

También se ha tenido en cuenta el carácter temporal de esta estructura y las dimensiones de esta, considerando el que se produzca un sismo en el momento en el que está montada la grada con espectadores encima, en una zona donde se produzca una aceleración sísmica capaz de superar todos los coeficientes de seguridad y provocar un colapso de la grada tiene unas posibilidades ínfimas. Además, hay que tener en cuenta que la altura máxima de la grada es de 1,6 m y que la evacuación de la grada se puede realizar en cuestión de segundos por lo que un sismo que produjese víctimas es prácticamente imposible.

Aun así, se han seguido las recomendaciones de esta norma en lo que se refiere a la forma de la estructura, realizando la grada lo más simétrica y regular como ha sido posible; en lo que se refiere a la disposición de los elementos estructurales, procurando una distribución uniforme y simétrica de rigideces en planta; y utilizando elementos estructurales los cuales no cambian ninguno bruscamente de rigidez.

3. Hipótesis de cálculo

En nuestro caso los cálculos se han realizado siguiendo la norma UNE-EN 1990:2019 la cual nos propone la siguiente combinación de acciones para situaciones persistentes o transitorias:

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

donde $\gamma_{G,j}$ es el coeficiente parcial de la acción permanente, $G_{k,j}$ es el valor característico de las acciones permanentes, γ_p es el coeficiente parcial de las acciones de pretensado, P es el valor representativo relevante de una acción de pretensado, $\gamma_{Q,1}$ es el coeficiente parcial de la acción variable dominante, $Q_{k,1}$ es el valor característico de la acción variable dominante, $\gamma_{Q,i}$ es el coeficiente parcial del resto de acciones variables, $\Psi_{0,i}$ es el factor de simultaneidad del valor de combinación del resto de acciones variables, y $Q_{k,i}$ es el valor característico del resto de acciones.

Esta combinación de acciones en la que encontramos coeficientes de ponderación corresponde con el valor de cálculo de los efectos de las acciones que sufre la estructura, y para que cumpla con los estados límite últimos se debe cumplir que:



$$E_d \leq R_d$$

siendo E_d el valor de cálculo de los efectos de las acciones tal como fuerza interna, momento o un vector que represente varias fuerzas internas o momentos, y R_d es el valor de cálculo de la resistencia correspondiente. Viendo esto entendemos la aplicación de coeficientes que ofrezcan un margen de seguridad ya que el sobrepasar los estados límite últimos puede generar el colapso de parte de la estructura con la gravedad que esto conlleva. La comprobación de los estados límite de servicio se realiza utilizando la misma fórmula, pero sin aplicar los coeficientes de ponderación.

En nuestra grada no tendremos acciones de pretensado por lo que solo veremos cargas permanentes y variables, las cuales son las siguientes:

- PP: peso propio
- Q1: sobrecarga de uso vertical
- Q2: sobrecarga de uso horizontal dirigida hacia el frontal de la grada
- Q3: sobrecarga de uso horizontal dirigida hacia la parte trasera de la grada
- Q4: sobrecarga de uso horizontal dirigida hacia el lateral y hacia la derecha (viendo la grada de forma frontal)
- Q5: sobrecarga de uso horizontal dirigida hacia el lateral y hacia la izquierda (viendo la grada de forma frontal)
- V1: acción del viento dirigida hacia el frontal de la grada
- V2: acción del viento dirigida hacia la parte trasera de la grada
- V3: acción del viento dirigida hacia el lateral y hacia la derecha (viendo la grada de forma frontal)
- V4: acción del viento dirigida hacia el lateral y hacia la izquierda (viendo la grada de forma frontal)

Para llevar a cabo estos cálculos debemos definir las diferentes situaciones de proyecto, que en nuestro caso serán las debidas a la combinación del peso propio, la sobrecarga de uso, tanto vertical como horizontal y la acción del viento, y que generan las siguientes combinaciones:

- Estado 1: PP
- Estado 2: PP + Q1
- Estado 3: PP + Q1 + Q2
- Estado 4: PP + Q1 + Q3
- Estado 5: PP + Q1 + Q4
- Estado 6: PP + Q1 + Q5
- Estado 7: PP + Q1 + V1
- Estado 8: PP + Q1 + V2
- Estado 9: PP + Q1 + V3
- Estado 10: PP + Q1 + V4
- Estado 11: PP + Q1 + Q2 + V1
- Estado 12: PP + Q1 + Q2 + V2
- Estado 13: PP + Q1 + Q2 + V3
- Estado 14: PP + Q1 + Q2 + V4
- Estado 15: PP + Q1 + Q3 + V1



- Estado 16: PP + Q1 + Q3 + V2
- Estado 17: PP + Q1 + Q3 + V3
- Estado 18: PP + Q1 + Q3 + V4
- Estado 19: PP + Q1 + Q4 + V1
- Estado 20: PP + Q1 + Q4 + V2
- Estado 21: PP + Q1 + Q4 + V3
- Estado 22: PP + Q1 + Q4 + V4
- Estado 23: PP + Q1 + Q5 + V1
- Estado 24: PP + Q1 + Q5 + V2
- Estado 25: PP + Q1 + Q5 + V3
- Estado 26: PP + Q1 + Q5 + V4

Como podemos ver la sobrecarga de uso horizontal solo se da cuando se produce también la sobrecarga de uso vertical, puesto que ambas están producidas por los espectadores, y estas se combinan con las cuatro direcciones de viento dando veintiséis posibles situaciones.

En la norma UNE-EN 13200-6:2013 dedicada a gradas desmontables también nos ponen la condición de que la relación de flecha y el adecuado vano/voladizo no debe ser superior a 1:200, por lo que se comprobará también esta condición.

Todos estos cálculos, además de las comprobaciones locales en cada uno de los elementos se llevarán a cabo en el programa CYPE 3D. Las comprobaciones que se realizarán en cada uno de los elementos estructurales para ver si son aptos se realizarán conforme a la normativa UNE-EN 1993, la cual está incluida en CYPE 3D y que son las siguientes:

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5:2006, Art. 8)

Si bien el programa utiliza una versión anterior de la norma a la actual (la normativa vigente es del año 2013) los cálculos son los mismos y son los siguientes:

Para evitar la inestabilidad del alma por efecto del ala comprimida, se debe satisfacer la siguiente condición:

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

donde A_w es el área transversal del alma, A_{fc} es el área reducida eficaz del ala comprimida, h_w es la altura del alma, y t_w es el espesor del alma.

k es un coeficiente que vale 0,3 cuando se utilice la capacidad de rotación plástica, 0,4 cuando se utilice la resistencia plástica a flexión, y 0,55 cuando se utilice la resistencia elástica a flexión. En el programa se adoptará en todos los casos el valor de 0,3.

Esta comprobación se llevará a cabo solo en los perfiles de sección cuadrada, no realizándose en aquellos con sección en U.

En nuestro caso al tratarse de parámetros geométricos y del límite elástico, y ser todos los perfiles cuadrados de las mismas dimensiones y de la misma calidad obtendremos en todos ellos los siguientes resultados:



$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} = \frac{34mm}{3mm} \leq 0,3 \frac{210000MPa}{275MPa} \sqrt{\frac{2,04 cm^2}{1,2cm^2}} = 11,33 \leq 298,70$$

Por lo que todos los perfiles cuadrados cumplirán frente a esta comprobación.

Relación anchura/espesor: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-3:2012, Art. 5.2)

En el caso de los perfiles en U debemos realizar estas comprobaciones:

$$\frac{h}{t} \leq 500$$

y

$$\frac{b}{t} \leq 50$$

donde h es la altura del alma, b es el ancho de las alas, y t es el espesor.

Como todos los perfiles en U tienen la misma sección, tendremos los siguientes resultados:

$$\frac{h}{t} \leq 500; \frac{40 mm}{3 mm} = 13,3 \leq 500$$

$$\frac{b}{t} \leq 50; \frac{40 mm}{3 mm} = 13,3 \leq 50$$

Por lo que podemos utilizar el perfil en U 40x40x40x3.

Resistencia a tracción: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1:2013, Art. 6.2.3 para los perfiles cuadrados y Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2 para los perfiles en U)

En este caso la normativa sí que está actualizada en el programa y la comprobación que realiza es la siguiente:

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

donde $N_{t,Ed}$ es el axil de tracción solicitante de cálculo pésimo, el cual el programa te indica en que punto se da y para que combinación de acciones, y $N_{t,Rd}$ es la resistencia de cálculo a tracción, la cual se halla con la siguiente fórmula:

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

donde A es el área bruta de la sección transversal de la barra, y f_{yd} es la resistencia de cálculo del acero, la cual se calcula con la siguiente expresión:

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

donde f_y es el límite elástico que para aceros de calidad S275 es precisamente 275 MPa, y γ_{M0} es el coeficiente parcial de seguridad del material que se toma como 1,05.

De nuevo, la resistencia al depender de parámetros geométricos y de las características del acero, que en todos los perfiles es igual, será igual en todos los elementos que tengan la misma sección, es decir en el caso de los tubos 40x40x3 los cuales tienen un área bruta de



sección transversal de 4,2 cm², tendrán todos una resistencia de cálculo a tracción de 110,07 kN; mientras que los perfiles en U 40x40x40x3, los cuales disponen de un área bruta de sección transversal de 3,3 cm², tendrán una resistencia de cálculo a tracción de 86,47 kN.

Resistencia a compresión: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1:2013, Art. 6.2.4)

Se debe cumplir que:

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

donde $N_{c,Ed}$ es el axil de compresión solicitante de cálculo pésimo, el cual el programa te indica a qué distancia de uno de los nudos de la barra se da y para que combinación de acciones, y $N_{c,Rd}$ es la resistencia de cálculo a compresión, la cual se calcula de la misma forma que a tracción si los elementos son de clase 1, 2 o 3, como es el caso.

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1:2013, Art. 6.3.1)

También en las comprobaciones a compresión se ha llevado a cabo la comprobación de la resistencia a pandeo. El pandeo se puede despreciar y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal si se cumple que la esbeltez $\bar{\lambda} \leq 0,2$ o que la relación $N_{c,Ed}/N_{cr} \leq 0,04$. La esbeltez reducida se obtiene con la siguiente ecuación:

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

donde N_{cr} es el axil crítico elástico de pandeo, el cual se obtiene como el menor de los valores de axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y ($N_{cr,Y}$), axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z ($N_{cr,Z}$), y axil crítico elástico de pandeo por torsión ($N_{cr,T}$) en el caso de los perfiles cuadrados.

En el caso de los perfiles en U tan solo se calcularán el axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z, y el axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión ($N_{cr,FT}$).

En el caso de que el pandeo no se pueda ignorar deberemos calcular la resistencia a pandeo de la siguiente forma:

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

donde χ es el coeficiente de reducción por pandeo que se halla con la siguiente expresión:

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

siendo:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + (\bar{\lambda})^2]$$

donde α es el coeficiente de imperfección elástica.

Con esto ya se puede realizar la comprobación a pandeo, que tiene que cumplir que:



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

Resistencia a flexión eje Y: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1:2013, Art. 6.2.5 para los perfiles cuadrados y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3:2012, Art. 6.1.4.1 para los perfiles en U)

Se debe satisfacer:

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

tanto para flexión positiva (M_{Ed}^+) como para negativa (M_{Ed}^-).

M_{Ed} es el momento flector solicitante de cálculo pésimo, y $M_{c,Rd}$ es el momento flector resistente de cálculo, que se obtiene así:

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

donde $W_{pl,y}$ es el módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2 (en nuestro caso las secciones cuadradas se consideran de clase 1, es decir secciones plásticas que permiten la formación de rótulas plásticas con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos). En el caso de las secciones en U se utilizará en vez de $W_{pl,y}$, el módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión (W_{el}).

En este punto se podría también calcular la resistencia a pandeo lateral, pero en el caso de perfiles tubulares la rigidez torsional es muy grande y evita cualquier tipo de pandeo con torsión, por lo que la longitud de pandeo lateral se considera nula.

Resistencia a flexión eje Z: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1:2013, Art. 6.2.5 para los perfiles cuadrados y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3:2012, Art. 6.1.4.1 para los perfiles en U)

Los cálculos son idénticos a los realizados para el eje Y, solo que el módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión se calcula para el eje Z ($W_{pl,z}$), lo que en el caso de los perfiles cuadrados nos ofrece en el mismo valor, pero en el caso de los perfiles en U que se calculaban con el módulo resistente elástico sí que cambia.

Resistencia a flexión biaxial: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-3:2012, Art. 6.1.4.1)

Exclusivamente en los perfiles en U se lleva a cabo esta comprobación que debe satisfacer que:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

donde $M_{y,Ed}$ y $M_{z,Ed}$ son los momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente, y $M_{cy,Rd}$ y $M_{cz,Rd}$ son las resistencias de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

Resistencia a corte Z: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1:2013, Art. 6.2.6 para los perfiles cuadrados y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3:2012, Art. 6.1.5 para los perfiles en U)

Se debe cumplir:



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

en el caso de los perfiles cuadrados y:

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

en el caso de los perfiles en U, donde V_{Ed} es el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, y $V_{c,Rd}$ y $V_{b,Rd}$ son los esfuerzos cortantes resistentes de cálculo, los cuales tienen las siguientes fórmulas:

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

donde A_v es el área transversal a cortante que se obtiene con la siguiente expresión:

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

donde d y t_w son la altura y el espesor del alma respectivamente. En nuestro caso será el lado ya que en realidad no tenemos alma, consiguiendo un área transversal de 2,04 cm² que resulta en un esfuerzo cortante resistente de cálculo para todos los perfiles cuadrados 40x40x3 de 30,85 kN.

En el caso de los perfiles en U, el esfuerzo cortante resistente de cálculo se calcula con la siguiente expresión:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\text{sen}\phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

donde h_w es la altura del alma, t el espesor, ϕ el ángulo que forma el alma con la horizontal, y f_{bv} la resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo, la cual depende de la esbeltez relativa del alma $\bar{\lambda}_w$ que se calcula con la siguiente fórmula:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

donde f_{yb} es el límite elástico del material base, es decir 275 MPa, y E el módulo de elasticidad que para el acero sabemos que son 210000 MPa. En la norma encontramos diferentes expresiones para f_{bv} en función del valor de la esbeltez relativa del alma, pero en nuestro caso como todos los perfiles en U son 40x40x40x3 y tienen una calidad S275, $\bar{\lambda}_w = 0,14$

Para esbelteces relativas del alma inferiores a 0,83, la resistencia a abolladura por cortante f_{bv} será:

$$f_{bv} = 0,58 \cdot f_{yb}$$

lo que nos da un valor de 159,50 MPa, y por lo tanto un esfuerzo cortante resistente de cálculo para todos los perfiles en U de 15,66 kN.

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5:2018, Art. 5)



Dentro de las comprobaciones a corte de los perfiles cuadrados encontramos esta comprobación, la cual nos dice que, aunque no se hayan dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, si se cumple lo siguiente:

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

donde la primera parte de la inecuación es la esbeltez del alma:

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

y la segunda parte la esbeltez máxima:

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

donde η es el coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material y que en nuestro caso es 1,2, y ε es el factor de reducción que se halla con la siguiente fórmula:

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

donde f_{ref} es el límite elástico de referencia (235 MPa).

Con todo esto ya podemos calcular la comprobación que será igual para todos los perfiles cuadrados:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon; \frac{34 \text{ mm}}{3 \text{ mm}} < \frac{72}{1,2} \cdot \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{275 \text{ MPa}}} = 11,33 < 55,46$$

por lo que se cumple y por lo tanto no es necesaria la comprobación de la resistencia a la abolladura del alma por cortante.

Resistencia a corte Y: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1:2013, Art. 6.2.6 para los perfiles cuadrados y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3:2012, Art. 6.1.5 para los perfiles en U)

En el caso de la comprobación de los elementos de sección cuadrada la comprobación será igual que en el eje Z, solo que ahora el área transversal a cortante A_v tendrá la siguiente expresión:

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

donde A es el área de la sección bruta.

En el caso de los perfiles en U se debe cumplir que:

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

donde V_{Ed} es el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, y $V_{c,Rd}$ el esfuerzo cortante resistente que se calcula así:



$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

donde b_d es el ancho de las alas horizontales. $V_{c,Rd}$ será 33,73 kN para todos los perfiles U 40x40x40x3.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1:2013, Art. 6.2.8)

Se ha comprobado que en todos los perfiles cuadrados no es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, puesto que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} nunca es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$ que tiene un valor de 15,42 kN:

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

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1:2013, Art. 6.2.8)

Los cálculos son los mismos que en la anterior comprobación, solo que, cambiando los ejes en el momento flector y la fuerza cortante, lo que nos da para todos los perfiles cuadrados una resistencia de cálculo a cortante de 16,35 kN.

Resistencia a flexión y axil combinados: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1:2013, Art. 6.2.9)

Esta comprobación, como las dos anteriores, es exclusiva de los perfiles cuadrados, y se tienen que cumplir las tres comprobaciones que veremos a continuación para que el elemento sea apto:

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

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

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

donde $N_{t,Ed}$ es el axil de tracción solicitante de cálculo, $M_{y,Ed}$ y $M_{z,Ed}$ son los momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente, y $M_{N,Rd,y}$ y $M_{N,Rd,z}$ son los momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente, y que deben cumplir que:

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_w} \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_f} \leq M_{pl,Rd,z}$$

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



$$a_w = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} \leq 0,5$$

$$a_f = \frac{A - 2 \cdot h \cdot t_w}{A} \leq 0,5$$

También se debe cumplir lo siguiente:

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \cdot n^2} \leq 6$$

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

donde $N_{pl,Rd}$ es la resistencia a tracción.

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

Dentro del anterior apartado también se realiza la comprobación a pandeo donde se calculan los siguientes coeficientes de interacción:

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

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

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

También tenemos que calcular los siguientes términos auxiliares:

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

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

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$



$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

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

$$b_{LT} = 0,5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

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

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

$$e_{LT} = 1,7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1,5$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1,5$$

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

ya que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0,2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$$

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$

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

$$C_{m,LT} = 1$$

donde $C_{m,y,0}$ y $C_{m,z,0}$ son factores de momento flector uniforme equivalente, C_1 es el factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra, χ_y y χ_z son los coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente, χ_{LT} es el coeficiente de reducción por pandeo lateral, $\bar{\lambda}_{max}$ es la esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$, $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$ son las esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente, $\bar{\lambda}_{LT}$ es la esbeltez reducida, $\bar{\lambda}_0$ es la esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme, $W_{el,y}$ y $W_{el,z}$ son los módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente, $N_{cr,y}$ y $N_{cr,z}$ son los axiles críticos de pandeo por flexión respecto a los ejes Y y Z, respectivamente, I_y



es el momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y, e I_t es el momento de inercia a torsión uniforme.

Resistencia a flexión, axil, y cortante combinados: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10 para los perfiles cuadrados y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10 para los perfiles en U)

En el caso de los elementos estructurales cuadrados no es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede despreciar el efecto de la abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ para todos estos perfiles:

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

En el caso de los perfiles en U el cálculo es similar, solo que debemos calcular que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimos son menores o iguales al 50% de los esfuerzos cortantes resistentes de cálculo en los dos ejes:

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

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

Resistencia a torsión: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

En los perfiles cuadrados se debe satisfacer:

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

donde $M_{T,Ed}$ es el momento torsor solicitante de cálculo pésimo, y $M_{T,Rd}$ el momento torsor resistente de cálculo, el cual tiene la siguiente expresión:

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

donde W_T es el módulo de resistencia a torsión.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

En las barras cuadradas se debe cumplir que:

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

donde V_{Ed} es el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, y $V_{pl,T,Rd}$ el esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido, el cual se halla mediante la siguiente fórmula:

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



donde $V_{pl,Rd}$ es el esfuerzo cortante resistente de cálculo, y $\tau_{T,Ed}$ son las tensiones tangenciales por torsión que se calculan así:

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

donde $M_{T,Ed}$ es el momento torsor solicitante de cálculo pésimo, y W_t es el módulo de resistencia a torsión.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

El procedimiento de cálculo es idéntico al del anterior apartado.

Resistencia a tracción y flexión: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Para los perfiles en U se realizan las siguientes comprobaciones:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

donde $N_{t,Ed}$ es el axil de tracción solicitante de cálculo pésimo, $M_{y,Ed}$ y $M_{z,Ed}$ son los momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente, $N_{t,Rd}$ es la resistencia de cálculo a tracción, $M_{cy,Rd,ten}$ y $M_{cz,Rd,ten}$ son las resistencias de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente, y $M_{cy,Rd,com}$ y $M_{cz,Rd,com}$ son las resistencias de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

Resistencia a compresión y flexión: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

De nuevo, exclusivamente para los perfiles en U, se realizan las siguientes comprobaciones:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

donde $N_{c,Ed}$ es el axil de compresión solicitante de cálculo pésimo, y $N_{c,Rd}$ es la resistencia de cálculo a compresión.

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante: (Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

Esta es la última comprobación que realiza el programa a los perfiles en U, los cuales deben cumplir que:

$$\eta = \frac{\sigma_{tot,Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta = \frac{\tau_{tot,Ed}}{\tau_{Rd}} \leq 1$$



$$\eta = \frac{f_{tot,Ed}}{f_{Rd}} \leq 1$$

Las tensiones normales $\sigma_{tot,Ed}$, calculadas para la sección eficaz, se obtienen con la siguiente expresión:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed}$$

donde $\sigma_{N,Ed}$ son las tensiones normales debidas al axil:

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_g}$$

donde $N_{t,Ed}$ es el axil de tracción solicitante de cálculo pésimo, y A_g es el área bruta de la sección transversal de la barra.

$\sigma_{My,Ed}$ es la tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Y:

$$\sigma_{My,Ed} = -\frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot Z$$

donde $M_{y,Ed}$ es el momento flector solicitante de cálculo pésimo, I_y es el momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y, y Z es la coordenada, según el eje Z, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$\sigma_{Mz,Ed}$ es la tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Z:

$$\sigma_{Mz,Ed} = -\frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot Y$$

donde $M_{z,Ed}$ es el momento flector solicitante de cálculo pésimo, I_z es el momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z, e Y es la coordenada, según el eje Y, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$\tau_{tot,Ed}$ son las tensiones tangenciales, calculadas para la sección bruta, y que se calculan así:

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{Vy,Ed} + \tau_{Vz,Ed} + \tau_{t,Ed}$$

donde $\tau_{Vy,Ed}$ son las tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante:

$$\tau_{Vy,Ed} = -\frac{\bar{S}_z}{I_z \cdot t} \cdot V_{y,Ed}$$

donde $V_{y,Ed}$ es el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Y, \bar{S}_z es el momento estático, respecto del eje Z, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación, I_z es el momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z, y t es el espesor.

$\tau_{Vz,Ed}$ son las tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante:

$$\tau_{Vz,Ed} = -\frac{\bar{S}_y}{I_y \cdot t} \cdot V_{z,Ed}$$



donde $V_{z,Ed}$ es el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Z, \bar{S}_y es el momento estático, respecto del eje Y, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación, I_y es el momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y, y t es el espesor.

$\tau_{t,Ed}$ son las tensiones tangenciales debidas al momento torsor:

$$\tau_{t,Ed} = \pm \frac{t}{I_t} \cdot M_t$$

donde $M_{t,Ed}$ es el momento torsor solicitante de cálculo pésimo, e I_t es el momento de inercia a torsión uniforme.

Las tensiones totales $f_{tot,Ed}$ se calculan así:

$$f_{tot,Ed} = \sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2}$$

La resistencia de cálculo a tensiones normales σ_{Rd} viene dada por:

$$\sigma_{Rd} = f_{yb} / \gamma_{M0}$$

τ_{Rd} es la resistencia de cálculo a tensiones tangenciales:

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yb} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

y f_{Rd} es la resistencia de cálculo a tensiones totales:

$$f_{Rd} = 1,1 \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

donde f_{yb} es el límite elástico del material base, y γ_{M0} el coeficiente parcial de seguridad del material.

3.1. Coeficientes de ponderación y factores Ψ

En la comprobación de los estados límite últimos hemos visto la expresión para hallar el valor de cálculo de los efectos de las acciones, la cual lleva asociados unos coeficientes de ponderación y factores Ψ que aparecen en la norma UNE-EN 1990:2019:

Acción	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecargas en edificios, categoría (véase la Norma EN 1991-1-1)			
Categoría A: zonas residenciales, domésticas	0,7	0,5	0,3
Categoría B: zonas de oficinas	0,7	0,5	0,3
Categoría C: zonas de reunión	0,7	0,7	0,6
Categoría D: zonas comerciales	0,7	0,7	0,6
Categoría E: zonas de almacenamiento	1,0	0,9	0,8
Categoría F: zona de tráfico, peso del vehículo ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Categoría G: zona de tráfico, 30 kN < peso del vehículo ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Categoría H: cubiertas	0	0	0
Cargas de nieve en edificios (véase la Norma EN 1991-1-3)*			
Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia	0,70	0,50	0,20
Resto de los Estados miembro del CEN, para sitios localizados a alturas H > 1 000 m sobre el nivel del mar	0,70	0,50	0,20
Resto de los Estados miembro del CEN, para sitios localizados a alturas H $\leq 1 000$ m sobre el nivel del mar	0,50	0,20	0
Cargas de viento en edificios (véase la Norma EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (no la debida a incendio) en edificios (véase la Norma EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NOTA Los valores de ψ pueden establecerse mediante los anexos nacionales.			
* Para los países que no se citan, véanse las condiciones locales correspondientes.			

Figura 32: Valores recomendados de los factores ψ para edificios

En el caso de los factores ψ debemos escoger aquellos correspondientes con la categoría C, puesto que en la norma UNE-EN 13200-6:2013 nos indican que este tipo de construcciones son de esta categoría, la cual a su vez está dividida en las categorías C2 y C5 en función de si es una zona de asientos fijos, o una zona susceptible de agolpamiento de personas respectivamente.

En el caso de los factores de combinación se han tomado los valores más extremos para de esta forma comprobar tanto la pérdida del equilibrio estático de la estructura o de cualquier parte de ella considerada como un cuerpo rígido, en que las variaciones menores del valor o de la distribución espacial de las acciones permanentes de un único origen son significativas, y las resistencias de los materiales de construcción o del terreno no son dominantes (EQU); el fallo interno o deformación excesiva de la estructura o elemento estructural, en que es dominante la resistencia de los materiales de construcción de la estructura (STR); y el fallo interno o deformación excesiva del terreno en que las resistencias del suelo o de la roca son significativas para la resistencia (GEO). [6]

$$\gamma_{G,j,sup} = 1,35$$

$$\gamma_{G,j,inf} = 1$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5 \text{ (desfavorable) y } 0,9 \text{ (favorable)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,5 \text{ (desfavorable) y } 0,9 \text{ (favorable)}$$



DOCUMENTO Nº3

ANEXO II

CÁLCULOS EN CYPE 3D

Autor: Rubén Cabrejas Merino

Director: Jesús Cuartero Salafranca

Noviembre de 2020



Índice de Anexo II. Cálculos en CYPE 3D

1. Introducción	112
2. Procedimiento	119
3. Resultados	131

1. Introducción

El programa CYPE 3D forma parte de una serie de programas desarrollados por CYPE Ingenieros, el cual sirve para la realización de cálculos estructurales en tres dimensiones de construcciones realizadas en diferentes materiales, entre los cuales se encuentra obviamente el acero. Este software es capaz de dimensionar las barras de acero de una estructura, sus uniones, la cimentación, y mostrar si se cumple con la normativa que hallamos seleccionado, motivo por el que se ha elegido.

En este anexo veremos cómo se ha introducido nuestra grada en el programa, las modificaciones que se han ido realizando en función de los resultados que iba ofreciendo el programa, y finalmente los cálculos finales que confirman la funcionalidad de esta construcción en función de la normativa que hemos elegido.

Pero antes de ello, veremos las herramientas que dispone el programa que hemos utilizado.

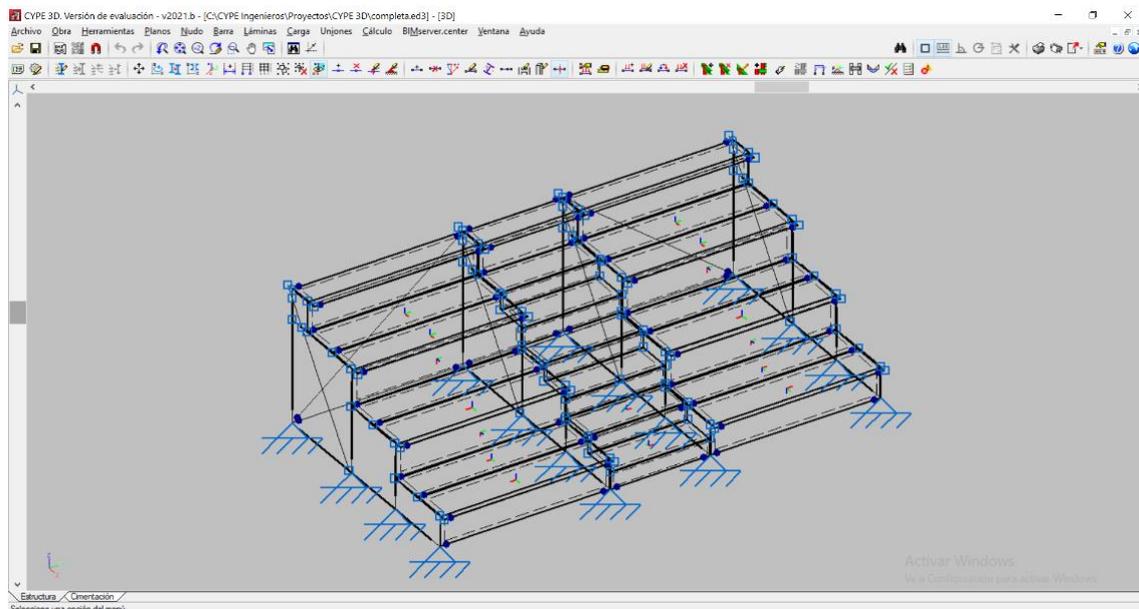


Figura 33: Interfaz del programa CYPE 3D

La interfaz del programa es la que podemos observar en la anterior figura, donde encontramos una serie de pestañas que procederemos a explicar a continuación.

En primer lugar, tenemos la pestaña “Archivo”, la cual es similar a la que encontramos en otros programas con opciones como crear un nuevo proyecto, guardarlo, exportar, etc.

Después tenemos la pestaña “Obras”, en la cual encontramos los datos generales donde podemos seleccionar la normativa que queremos aplicar, la calidad del acero, las categorías de uso, podemos añadir hipótesis adicionales, ya que de serie tan solo considera el peso propio, y en nuestro caso deberemos además añadir las acciones de sobrecarga de uso y de viento, etc.

En la siguiente pestaña “Herramientas” encontramos el botón “Vista 3D”, con el cual podremos ver la estructura de forma más realista que en la anterior imagen, ya que las barras aparecen con grosores, se ven las chapas, uniones, etc.

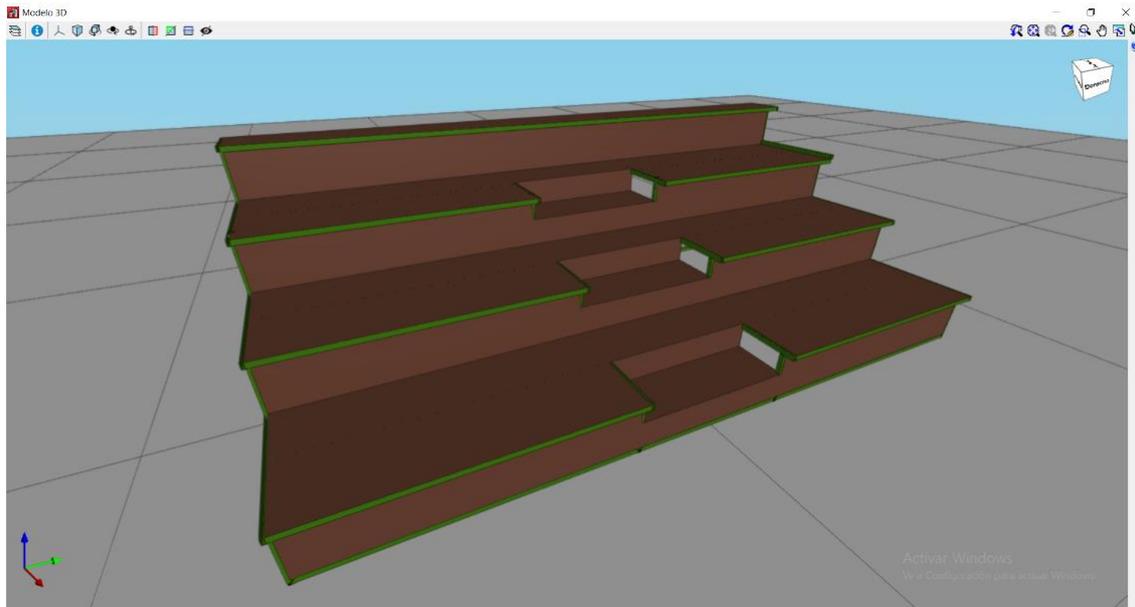


Figura 34: Vista 3D

Más adelante encontramos la pestaña “Nudo”, la cual nos permite introducir nudos a los cuales llegarán barras, y los cuales más adelante se podrán convertir si se desea en uniones. En esta pestaña también tenemos la opción de añadir una vinculación interior a un nudo, por ejemplo, decir que dos barras están empotradas en un nudo, y vincunicaciones exteriores, que en nuestro caso se han utilizado para describir la conexión de la grada con el pavimento.

Después tenemos la pestaña “Barra” con la cual lógicamente podemos introducir barras, pero además tenemos otras herramientas que se han utilizado en este trabajo como “Describir” con la cual podemos seleccionar el perfil de la barra entre un listado que trae el programa por defecto, y si no aparece el perfil, se puede introducir manualmente.

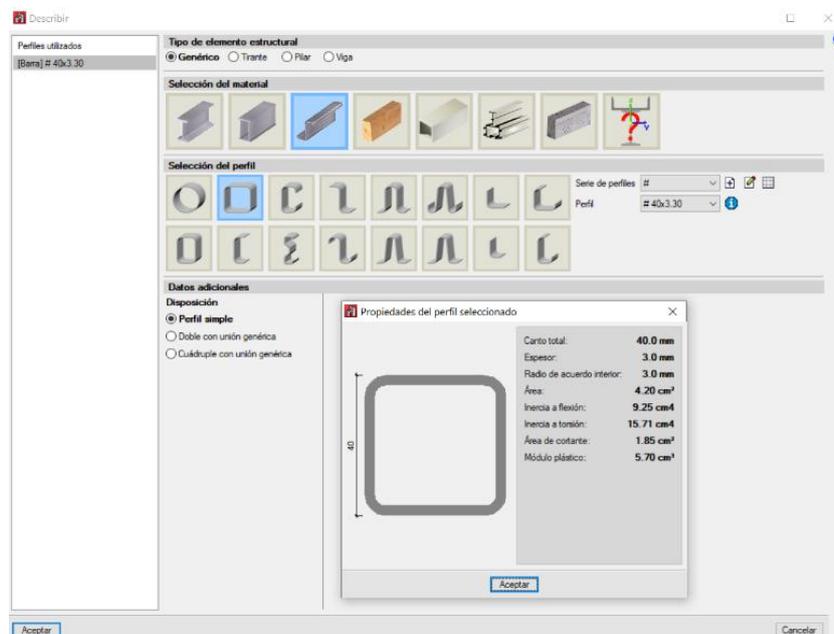


Figura 35: Herramienta "Describir"

A continuación, encontramos la herramienta “Describir disposición”, la cual nos permite describir los ejes locales de una barra, lo cual sirve por ejemplo para que dos barras que confluyen en un nudo estén alineadas de la forma que deseemos. Incluso se les puede dar un ángulo de giro a las barras, lo que en nuestro caso ha servido para que el lado abierto de los perfiles en U quede en la parte superior.

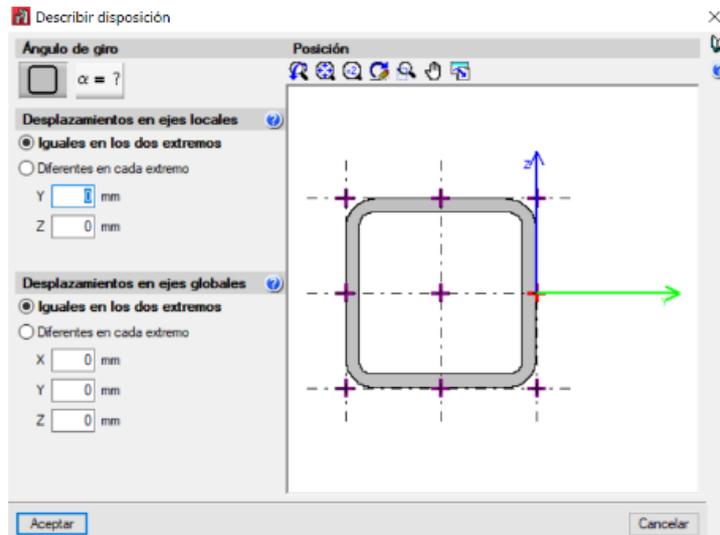


Figura 36: Herramienta "Describir disposición" en barras

Luego tenemos la opción de añadir longitudes de pandeo a nuestras barras, y de pandeo lateral.

Después encontramos dos herramientas que agilizan las vinculaciones que se dan entre barras articulando o empotrando los extremos de una barra si se pulsa en el centro de ella.

Por último, dentro de la pestaña “Barra”, tenemos la posibilidad de asignar una flecha límite a las barras que después el programa puede calcular si se cumple. Antes de introducir esta flecha límite debemos especificar el grupo de flecha al que queremos que pertenezca cada barra con el comando “Crear grupos de flecha”

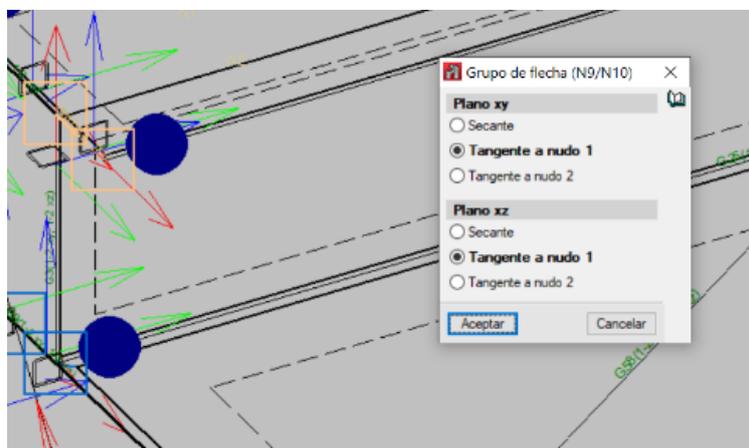


Figura 37: Herramienta "Crear grupos de flecha"

Para que el programa entienda si una barra está en voladizo o está apoyada en sus dos extremos debemos seleccionar para los dos ejes que es secante si está biapoyada, o como vemos en la anterior imagen que es tangente a nudo 1 en los dos ejes si es una ménsula.

La siguiente pestaña es “Láminas”, con la cual introduciremos las chapas de nuestra grada. En esta pestaña encontramos de nuevo las herramientas “Describir sección” con la cual podemos introducir el espesor de la chapa, y “Describir disposición” eligiendo los ejes locales de nuestra chapa. También al igual que en las barras se puede describir el material del que están realizados estos elementos, eligiendo la calidad que deseemos.

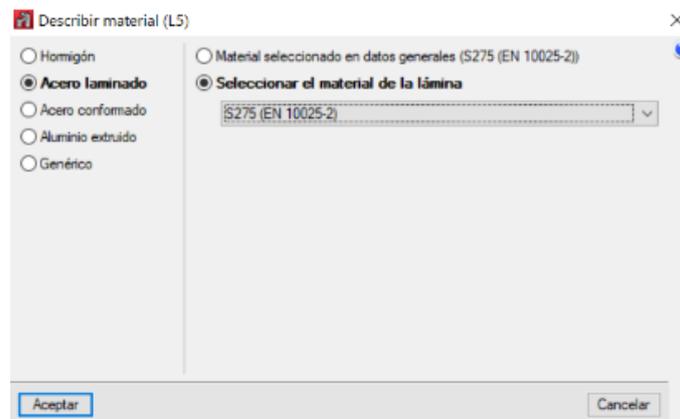


Figura 38: Herramienta "Describir material"

Se puede definir también las vinculaciones de las láminas entre sí y con otros elementos, y también tenemos la opción de dividir láminas en dos.

La siguiente pestaña se llama “Carga” y como su nombre indica sirve para introducir todas las cargas que soportará la estructura.

En primer lugar, tenemos la herramienta “Hipótesis vista”, con la cual podemos decidir cuál de las cargas queremos ver en pantalla, ya que si elegimos ver todas las cargas puede ser bastante confuso encontrar los valores de cada una de ellas.

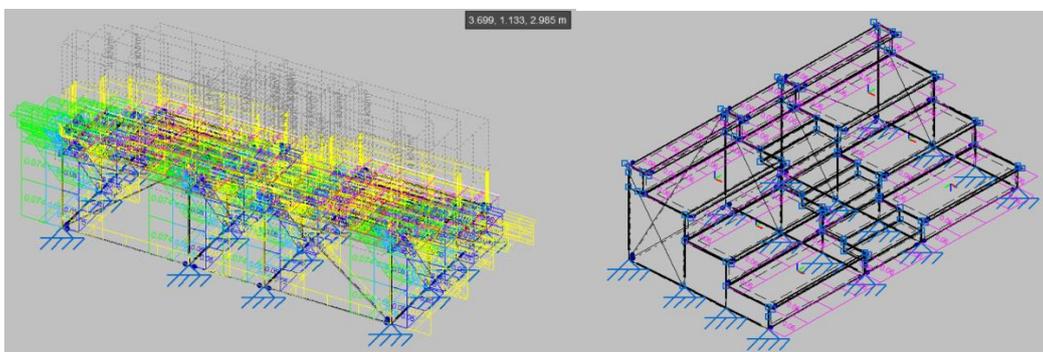


Figura 39: Diferencia entre seleccionar una sola carga o todas con la herramienta "Hipótesis vista"

También tenemos el comando “Escala” para aplicarle la escala que queramos a cada una de las cargas, ya que algunas cargas pequeñas como las de fricción debidas al viento o la sobrecarga de uso horizontal no pueden llegar casi a verse si no se les aplica un factor de escala de ampliación.

Las siguientes herramientas son para introducir las cargas, ya sea sobre las barras, láminas o introduciendo paños que sirven para introducir por ejemplo las cargas de viento añadiendo sobre estos después una carga superficial, incluso generar automáticamente las cargas de peso propio de las barras y láminas.

Después encontramos la pestaña “Uniones” con la cual se pueden generar las uniones de las barras que concurren en un nudo.

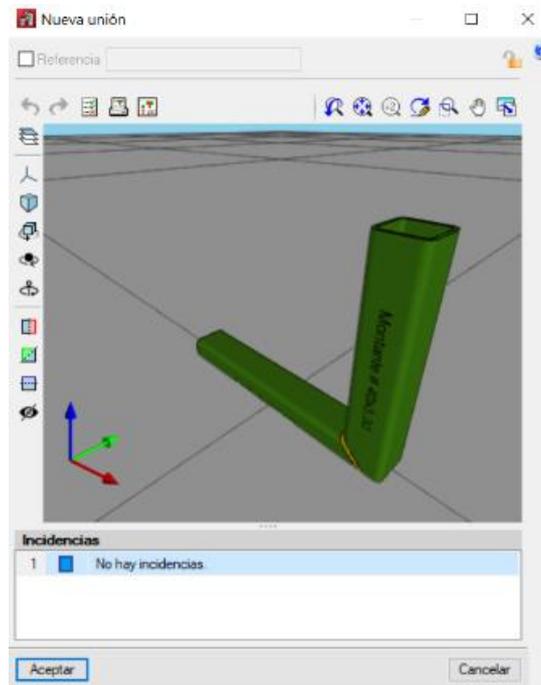


Figura 40: Herramienta "Nueva unión"

Como podemos ver en la anterior figura, se abre una ventana donde se representa en 3D la unión que ha realizado el programa y se puede consultar si ha sucedido alguna incidencia.

La siguiente pestaña “Cálculo” sirve para realizar todos los cálculos que el programa puede realizar para entre otras cosas comprobar si los elementos de la estructura cumplen con la normativa. Si pulsamos el botón “Calcular” nos aparece la siguiente ventana donde podemos elegir entre si queremos que el programa realice un dimensionamiento de los perfiles de nuestra estructura o queremos que el cálculo se lleve a cabo con los perfiles que nosotros hemos descrito, y el tipo de solución que deseamos que el programa realice en las uniones. A continuación, encontramos un listado donde podemos encontrar los tipos de uniones que CYPE 3D puede realizar.

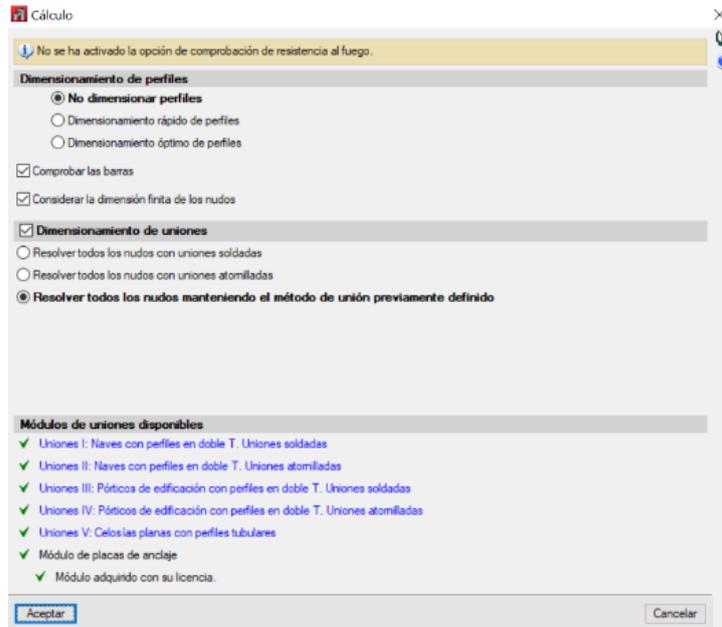


Figura 41: Herramienta "Calcular"

Una vez que pulsamos aceptar nos sale un aviso si no hemos definido algún parámetro, como por ejemplo el pandeo o pandeo lateral en alguna barra. Si seguimos adelante el programa empieza con el proceso de cálculo, y cuando termina aparecerá una ventana con el informe final de cálculo, que si todo ha ido bien nos indicará en nuestro caso que no se ha activado la opción de comprobación de resistencia al fuego. Con esto ya podemos acceder a las demás herramientas de la pestaña "Cálculo" para ver los resultados.

Podemos comprobar las uniones, los desplazamientos de los elementos, las reacciones que aparecen en los apoyos de la estructura, etc.

Encontramos también la herramienta "Esfuerzos" donde podemos consultar en cada barra el esfuerzo axial, cortante en los ejes Y y Z, momento torsor, momento en los ejes Y y Z, la deformada, la flecha en los planos XY y XZ, y la total, y el aprovechamiento de la resistencia de las barras, aplicando en cada una de ellas la escala que deseemos. En esta ventana también podemos seleccionar que tipo de hipótesis de cargas queremos visualizar.

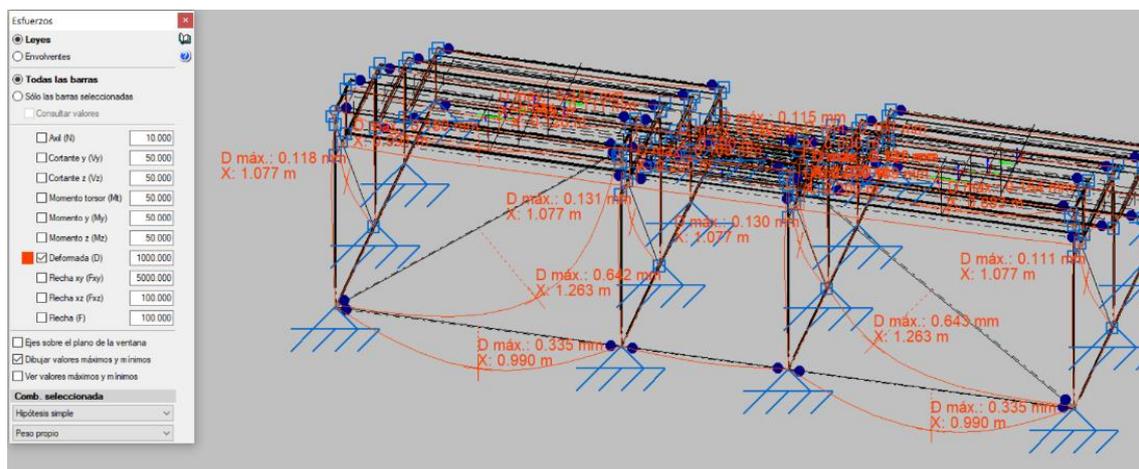


Figura 42: Herramienta "Esfuerzos" con la opción deformada activada para la carga de peso propio

La siguiente herramienta que encontramos es “Deformada e isovalores de la ventana activa”. Con esta herramienta podemos ver con un código de colores la deformada de la estructura, incluso se puede ver una simulación de como la estructura se deforma, eligiendo previamente la combinación de acciones que queramos. Si en vez de activar la opción “Deformada” seleccionamos “Isovalores” podemos elegir entre ver los desplazamientos de las barras y chapas (para los tres ejes y el total) y los giros en los tres ejes; los esfuerzos axil en X, Y y XY, flector en X, Y y XY, y el cortante en X e Y; y las tensiones normales en X e Y, tangencial en XY, XZ e YZ, la tensión máxima, mínima, de Von Mises, y tangencial máxima.

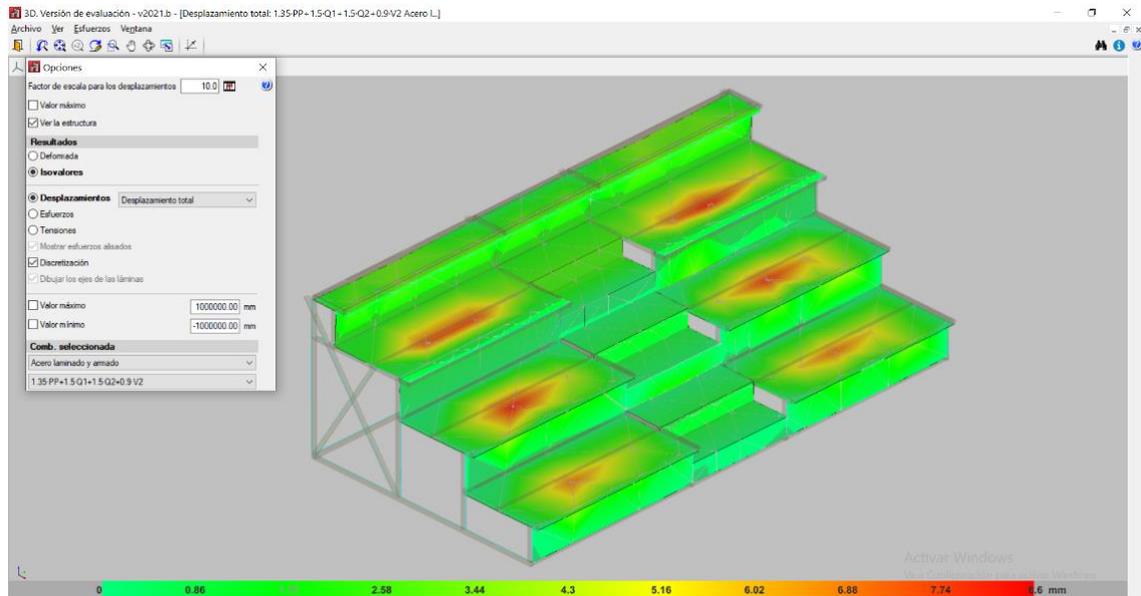


Figura 43: Herramienta "Deformada e isovalores de la ventana activa" con los resultados del desplazamiento total para la combinación de acciones más desfavorable

Otra de las herramientas que encontramos en la pestaña “Cálculo” es “Comprobar elementos”, con la cual podemos ver, si todos los elementos de la estructura están en verde, que cumplen con la normativa, y además si ponemos el ratón encima de cualquier barra podemos ver el aprovechamiento de resistencia y de flecha que tiene esa barra (si se supera el valor del 100% el elemento estructural no sería apto y se podría abrir una ventana donde podemos ver los perfiles que cumplen y los que no).

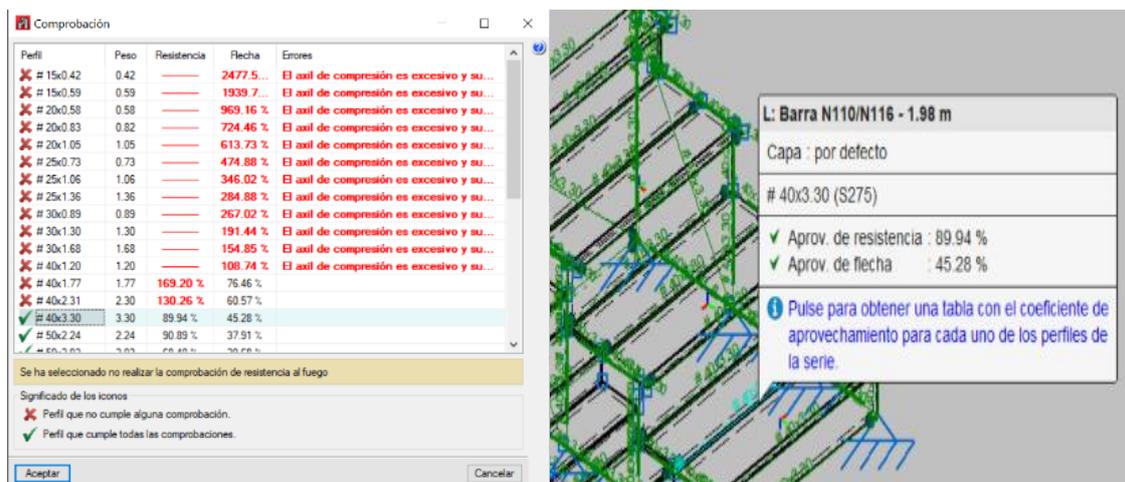


Figura 44: Herramienta "Comprobar elementos"



La siguiente herramienta que encontramos se llama “Comprobaciones E.L.U”, con la cual podemos seleccionar cualquier barra y ver las comprobaciones que ha realizado el programa y que describimos en el capítulo 3 del Anexo I, para analizar si la barra es apta o no. En el capítulo de resultados veremos los resultados de algunos de los perfiles.

La última herramienta que utilizamos de la pestaña “Cálculo” es “Mostrar/Ocultar incidencias”, que como su nombre indica permite mostrar si hay algún tipo de incidencia, mostrando sobre la estructura un símbolo de peligro que después se puede desplegar para ver el tipo de incidencia que se ha producido.

La última pestaña que se ha utilizado se llama “Ventana”, y en ella tenemos la posibilidad de crear nuevas ventanas, que en nuestro caso a servido para tener una ventana en 3D la cual es idónea para ver la estructura completa, y otra ventana en 2D la cual es mejor para introducir las primeras barras de la estructura.

2. Procedimiento

Prácticamente el primer paso que debemos realizar al abrir el programa es establecer los datos generales por los que se va a regir el programa para realizar los cálculos.

En primer lugar, seleccionamos las normas que deseamos cumplir escogiendo en nuestro caso para el acero los Eurocódigos 3 y 4 en su versión española. Estas dos normas aparecen juntas en el programa, pero en nuestro caso tan solo nos interesa el Eurocódigo 3 el cual trata las estructuras de acero, y que se basa en la norma UNE-EN 1990:2019 la cual es la base de cálculo para el resto de Eurocódigos, y que hemos utilizado en este proyecto para realizar las hipótesis de cálculo. El Eurocódigo 4 habla de las estructuras mixtas de acero y hormigón que en nuestra grada no aparecen.

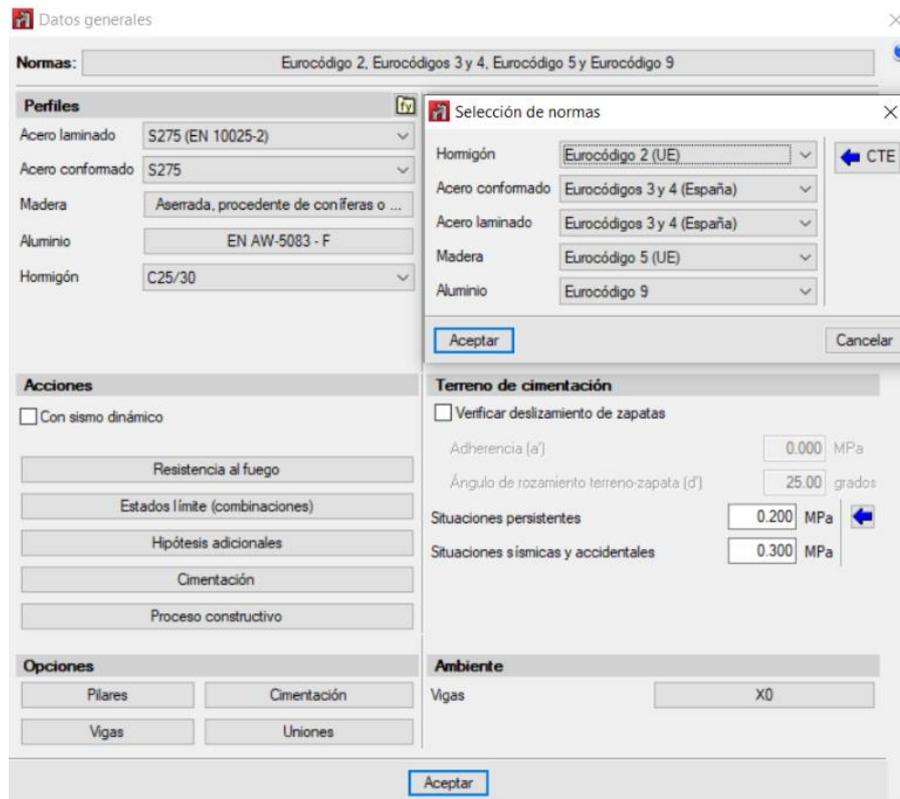


Figura 45: Datos generales y selección de normas

Después nos piden que seleccionemos la categoría de uso, eligiendo la categoría C (Áreas de reunión).

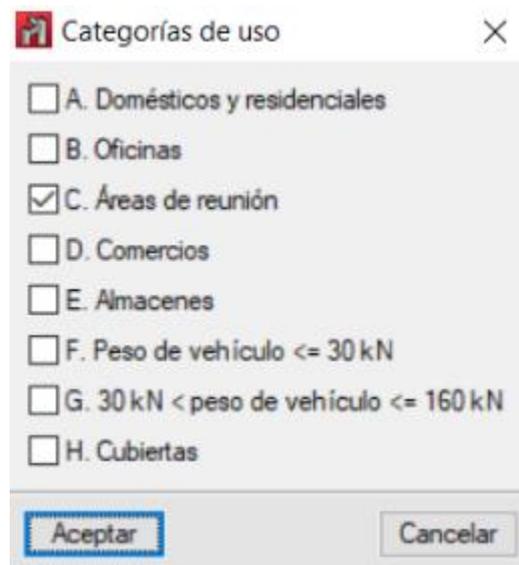


Figura 46: Categorías de uso

Más adelante, ya en la pestaña de Datos generales, podemos seleccionar la calidad del acero, que en nuestro caso es S275, y después en el apartado de acciones introducimos las hipótesis adicionales, aparte del peso propio que viene por defecto, que en nuestro caso son cinco sobrecargas de uso (una sobrecarga de uso vertical y cuatro sobrecargas de uso horizontales, una en cada sentido que forman los ejes ortogonales) y cuatro acciones de viento, una para

cada sentido ortogonal tal y como vimos en el capítulo 3 del anexo I, y asignando los mismos nombres en el programa que los que designamos anteriormente. Al introducir las cargas se abre una ventana donde podemos cambiar la combinatoria de las acciones de un mismo tipo.



Figura 47: Combinatoria de acciones de la ventana "Nueva hipótesis adicional"

Como podemos observar en la anterior imagen las cargas de viento no se pueden combinar entre si ya que, aunque en la realidad sí que el viento puede soplar en otra dirección que no sea una de las que se han establecido en el programa, la combinación de dos o más acciones de viento, aunque cambia la acción total resultante en dirección, también lo hace en valor. En el caso de las sobrecargas de uso se ha seleccionado que la sobrecarga de uso vertical se pueda combinar con cualquiera de las sobrecargas de uso horizontales, y de hecho las combinaciones que se produzcan exclusivamente con sobrecargas de uso horizontales sin sobrecarga de uso vertical se desecharán, ya que ambas cargas están producidas por los espectadores, y sí que puede existir sobrecarga de uso vertical sin sobrecarga de uso horizontal, pero no al revés.

Después de esto ya se abre la interfaz del programa y podemos empezar a introducir nuestra estructura. Para ello lo primero que hacemos es crear una vista en 2D para diseñar la estructura soporte lateral. Empezamos a introducir barras y nudos generando esta estructura la cual ha sufrido algunos cambios respecto de aquella que realizamos en el predimensionamiento que vimos en la memoria.

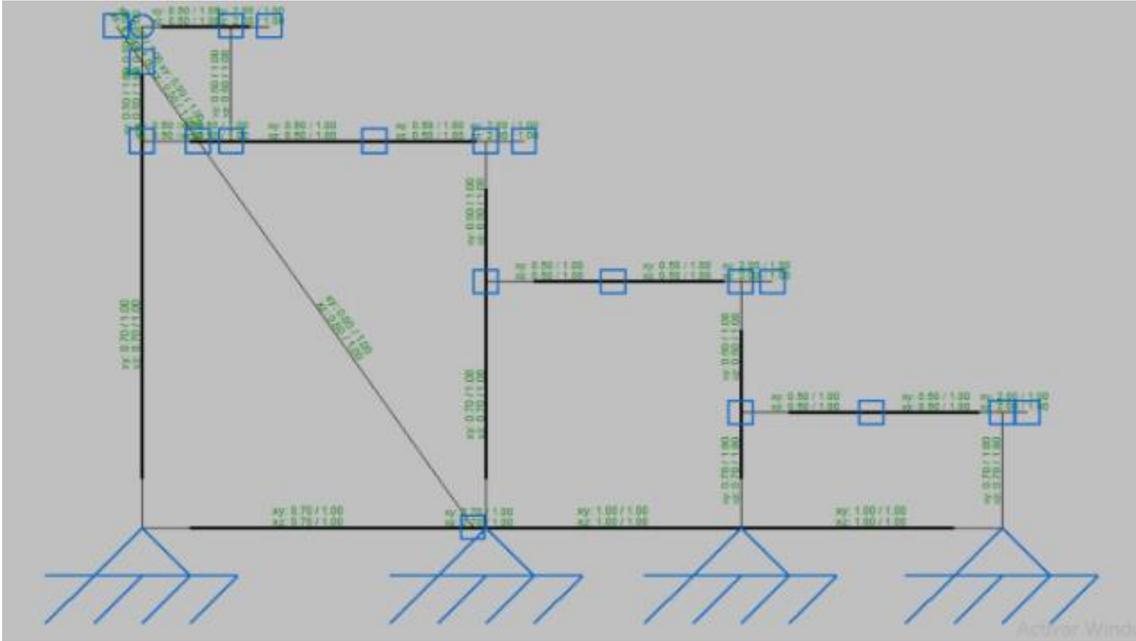


Figura 48: Estructura soporte lateral

Como podemos ver la barra horizontal inferior se ha acortado ya que se ha considerado que no era necesario el apoyapié que realizamos en el predimensionamiento, y la barra diagonal se ha cambiado de posición, eliminando una de las barras verticales más largas y en general reduciendo los metros de perfiles necesarios, pero este no ha sido el motivo principal, sino que ha sido que esta diagonal se alargue un poco para generar una ménsula sobre la cual se coloque un soporte donde se puedan apoyar las barreras traseras. De esta forma haremos que la barrera sea soportada principalmente por esta barra la cual estará a priori menos solicitada que la barra vertical trasera la cual ya tiene que soportar las sobrecargas de uso de los espectadores.

En este punto nos damos cuenta de que el programa cuando introducimos un nudo divide la barra en dos, pero si aparece en negrita como podemos ver en la figura 47, significa que es una barra continua, aunque más adelante cuando el programa realice los cálculos, tomará cada una de estas secciones como una barra independiente, obteniendo finalmente muchas más “barras” de las que en realidad existen.

Una vez que dibujamos la estructura tenemos que indicar al programa los perfiles de los que queremos que estén realizadas las barras, escogiendo en un primer momento el perfil 50x50x2, y asignando a cada perfil los ejes locales correspondientes, alternando entre la vista que vemos en la anterior figura, y la vista 3D para ir comprobando que todas las barras van quedando alineadas.

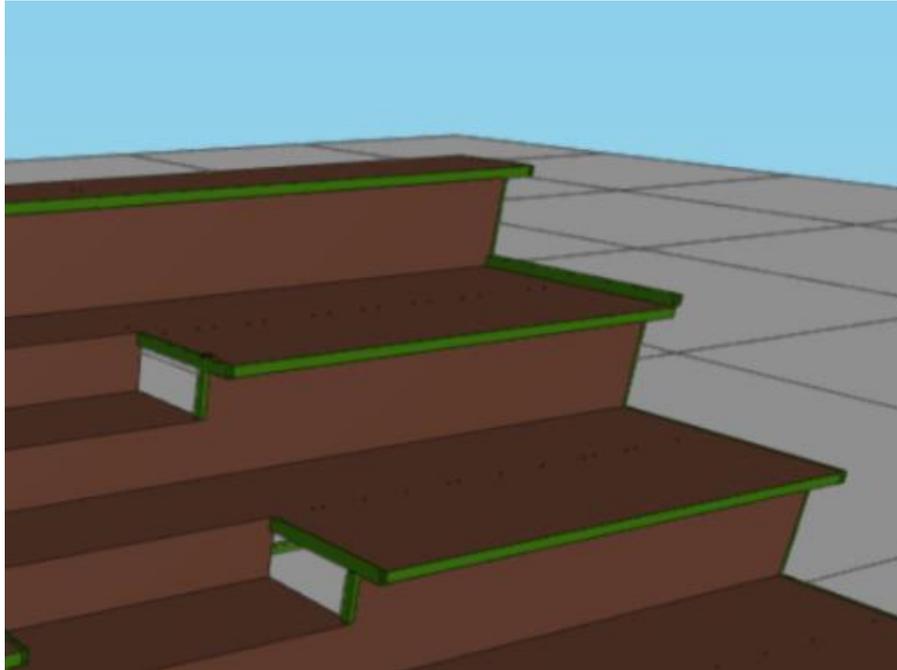


Figura 49: Barra antes de utilizar la herramienta "Describir disposición"

Un ejemplo gráfico de lo que acabamos de explicar es lo que vemos en la anterior imagen. Todas las barras están colocadas en sus posiciones correctas, pero vemos como una de ellas sobresale por encima de la lámina por lo que deberemos subir sus ejes locales para que quede como la barra de la fila inferior.

Una vez que completamos la estructura soporte lateral procedimos a introducir las uniones de los nudos, pero el programa nos indicó que según la normativa para soldar perfiles estos deben tener un espesor entre 2,5 y 25 mm, y ya que como dijimos en la memoria queríamos que la estructura soporte lateral fuese una pieza completa que estuviese soldada tuvimos que cambiar el perfil a un 40x40x3. Con este nuevo perfil cambian ligeramente las dimensiones que establecimos en el predimensionamiento, debido al centímetro de menos que tienen estos elementos estructurales respecto del cuadradillo 50x50x2.

Realizado esto vemos que ya podemos realizar las uniones, aunque activando el botón "Mostrar/Ocultar incidencias" vemos que aparecen algunas incidencias en algunos de los nudos. Esto es debido a que hay algunas uniones que el programa no sabe realizar ya que no las tiene incorporadas, tal y como podemos ver en la ventana que aparece después de pulsar el botón de "Calcular" (figura 40) si pulsamos en el módulo de uniones disponibles en las uniones V: Celosías planas con perfiles tubulares.

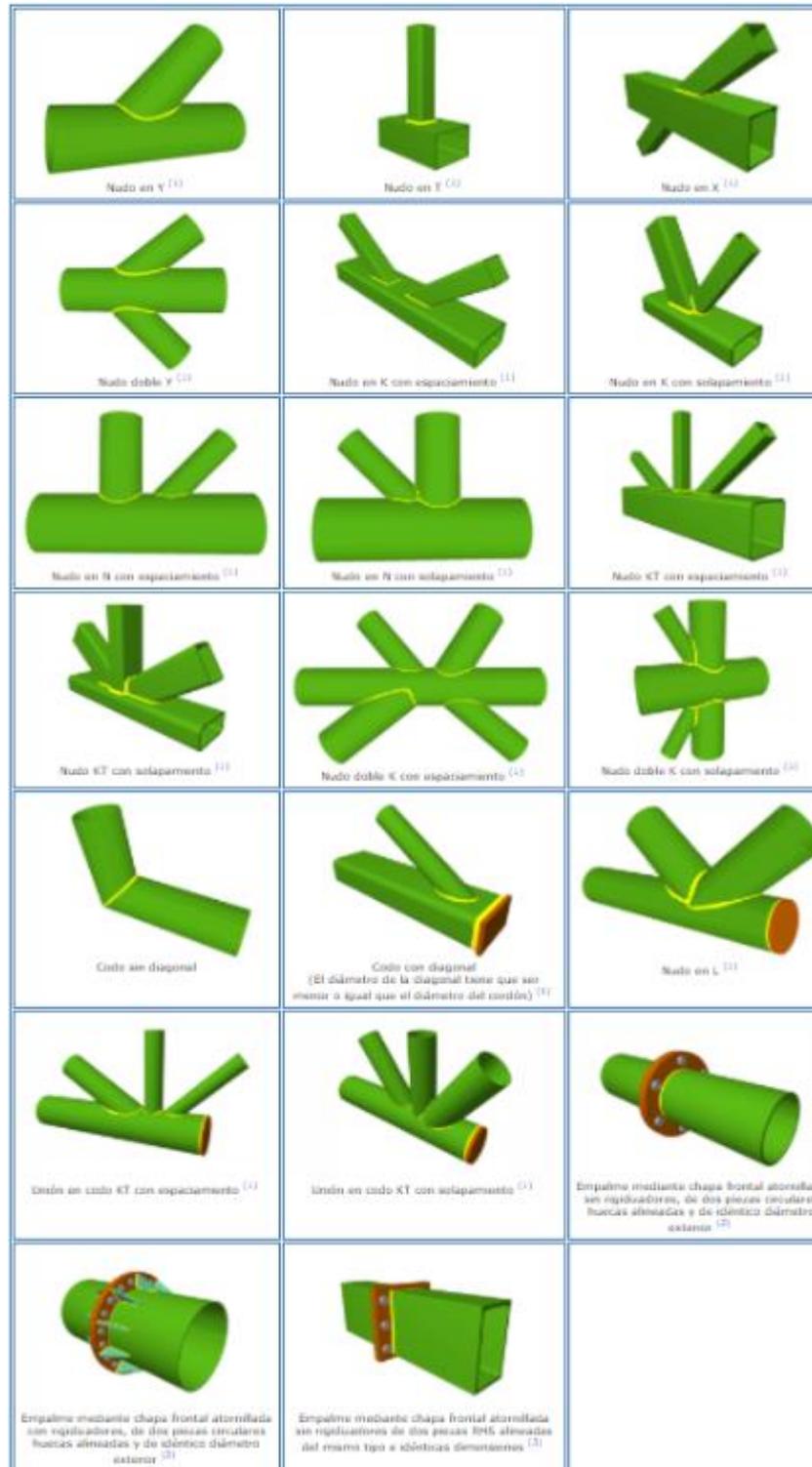


Figura 50: Uniones disponibles en CYPE 3D para perfiles tubulares

En nuestro caso nos sucede cuando confluyen en un nudo tres o más barras, ya que, aunque el programa sabe realizar la unión entre dos de estas barras, con la tercera por ejemplo si es perpendicular al plano que generan estas dos barras ya no aparece entre las uniones disponibles por el programa y no la puede hacer. La solución que se ha llevado es realizar las uniones de dos en dos barras, aunque en la realidad en algunos casos se podrían soldar más barras en un nudo.

Después de esto copiamos la estructura lateral cuatro veces a las distancias correspondientes, y empezamos a introducir las barras de unión de estas estructuras. Las barras que componen la estructura lateral las consideramos empotradas al ir soldadas entre sí, y las barras de unión irán articuladas a estas estructuras laterales.

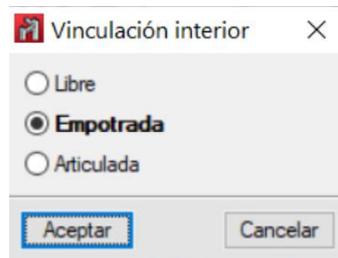


Figura 51: Vinculación interior de las barras

Las barras que estén articuladas aparecerán representadas en el programa con una bola azul en sus extremos.

Con esto ya tendríamos la estructura completa y el siguiente paso fue introducir las vinculaciones exteriores, es decir el tipo de apoyo que tendrá la grada en el suelo.

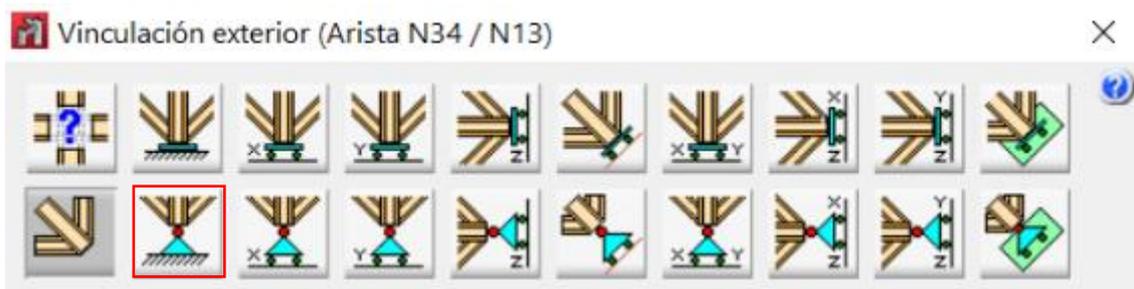


Figura 52: Vinculación exterior de las barras

En nuestro caso escogimos un apoyo fijo debajo de cada una de las barras verticales que componen cada una de las estructuras soporte laterales, lo que hace cuatro apoyos en cada estructura lateral y dieciséis apoyos en la estructura completa considerando la configuración de dos módulos de asientos con un módulo de escaleras.

Tras esto indicamos al programa el grupo de flecha al que pertenece cada barra, eligiendo secante en aquellas barras que se encuentren apoyadas en los dos extremos, y tangente a nudo 1 en aquellas barras que estén en voladizo.

Con esto ya podemos introducir la flecha límite en todas las barras seleccionando toda la grada.

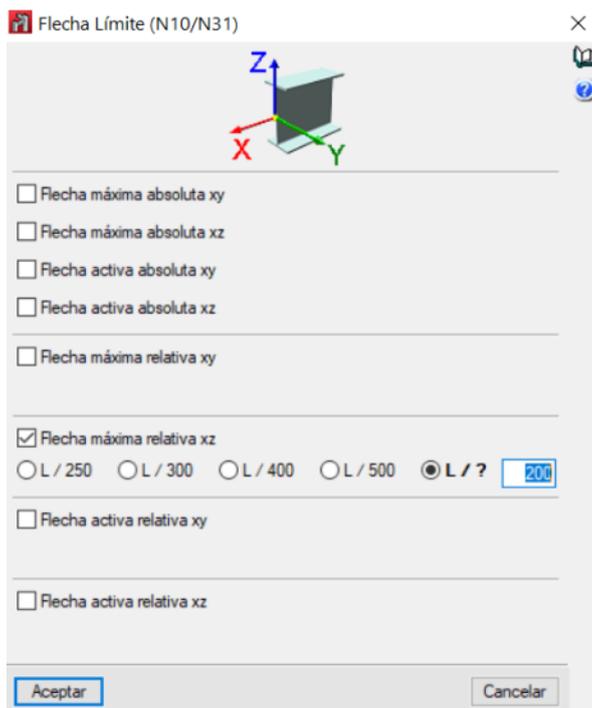


Figura 53: Flecha límite

En la norma UNE-EN 13200-6:2013 dedicada a gradas desmontables se nos indicaba que la relación de flecha y el adecuado vano/voladizo no debería ser superior a 1:200, por lo que introducimos en el programa este valor como flecha máxima relativa en el plano XZ.

El siguiente paso es introducir las longitudes de pandeo, que como son perfiles tubulares cuadrados será igual en cada barra en los dos planos, eso sí cambiará en cada una de las barras en función de la vinculación que tenga con el resto de las barras.

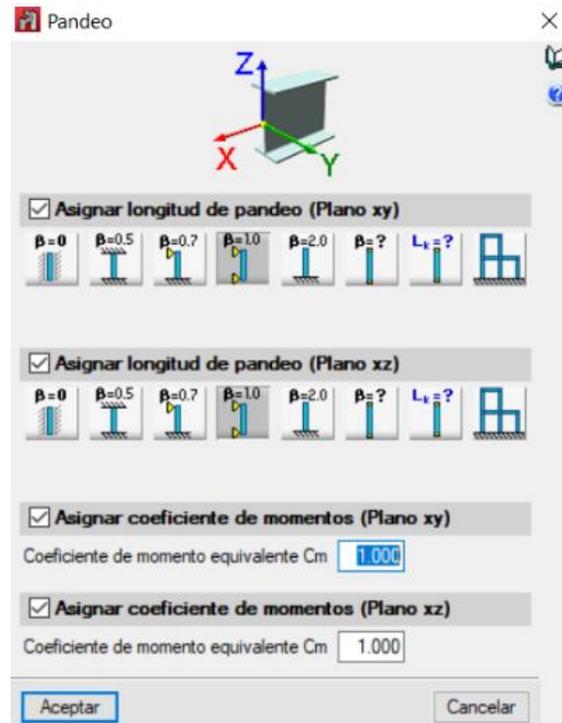


Figura 54: Pandeo

Aquellas barras que estén empotradas en los dos extremos se les dará el valor de 0,5, las que estén biapoyadas el valor de 1, y las que estén en voladizo el valor de 2.

También indicamos al programa que no se producirá pandeo lateral por lo que comentamos en el capítulo 3 del anexo I.

Con esto ya tenemos definidas completamente las barras y el siguiente paso es introducir las láminas, las cuales tendrán un espesor de 1,5 mm, y al igual que hicimos con las barras, asignaremos los ejes locales correspondientes para que queden perfectamente alineadas.

Ahora ya tenemos la estructura completa y podemos empezar a introducir las cargas correspondientes. Las cargas de peso propio tanto de las barras como de las láminas se introducen automáticamente:

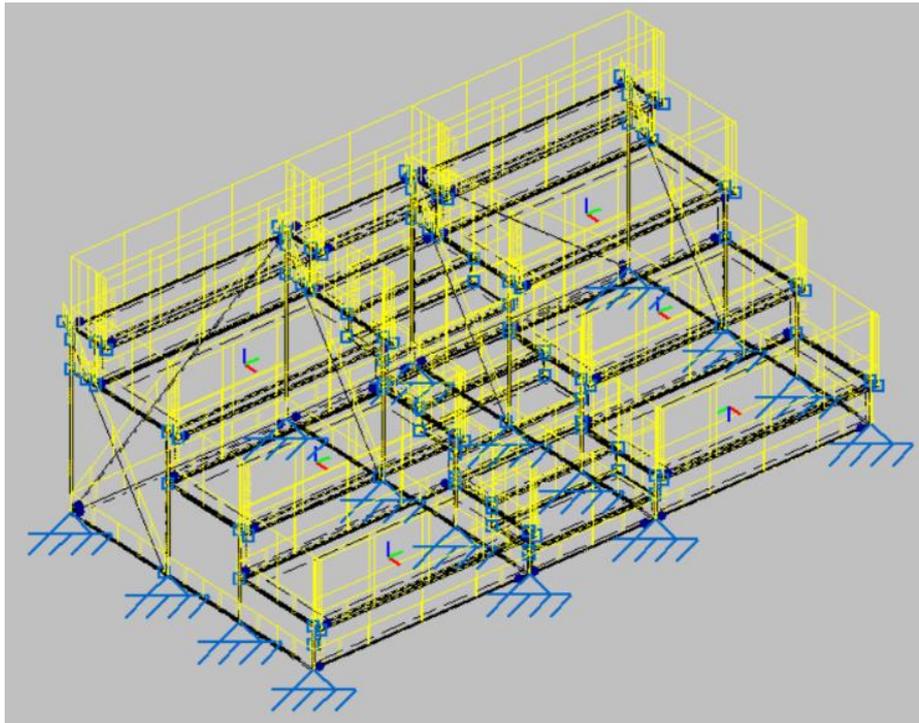


Figura 55: Cargas de peso propio

Después se introducen las sobrecargas de uso, donde la sobrecarga de uso vertical será una carga superficial, mientras que las sobrecargas de uso horizontales se introducirán como cargas sobre las barras.

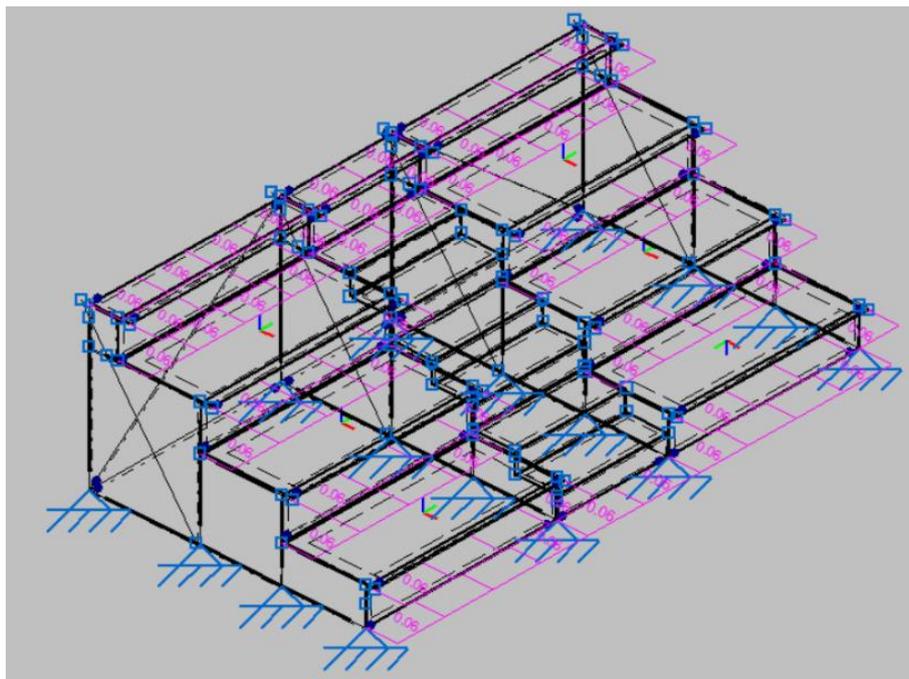


Figura 56: Sobrecarga de uso horizontal Q2

Las cargas de viento se introducirán utilizando tanto cargas sobre barras, por ejemplo, cuando el viento índice sobre la superficie lateral, como introduciendo paños donde se incluye el área de las láminas y de los perfiles que la rodean, sobre los que se aplica una carga superficial.

Realizado esto ya podemos calcular la primera de las estructuras que confeccionamos.

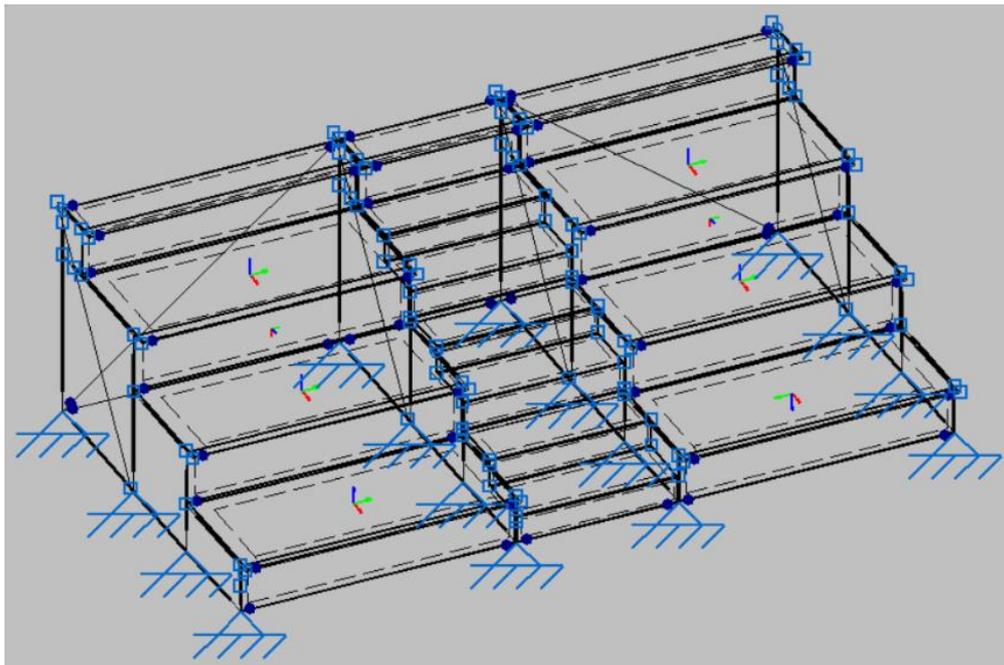


Figura 57: Primera grada calculada

Los resultados de las barras son correctos, ya que todos los perfiles soportan la carga que reciben y ninguno supera la flecha límite, pero cuando vemos la deformada de la grada vemos que hay láminas que sufren desplazamientos excesivos como podemos observar en la siguiente imagen.

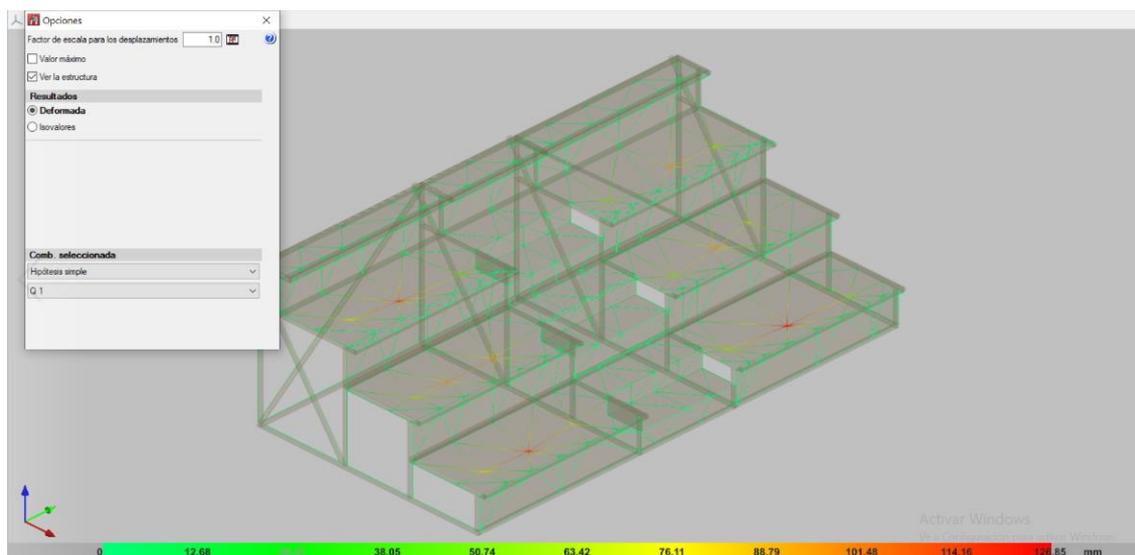


Figura 58: Deformación excesiva de las láminas

Vemos que las láminas que forman las pasarelas donde se sentarán los espectadores se deforman de tal manera tan solo con la sobrecarga de uso vertical, que alcanzan más de 12 cm de flecha, lo cual es un valor intolerable. Es por esto por lo que se procedió a dividir estas laminas longitudinalmente en dos, introduciendo una barra de soporte en medio. También se introdujeron barras de refuerzo en la zona de escaleras, las cuales al igual que con las

plataformas son barras que se soldarán a las chapas siendo un tan solo elemento que se anclará a las estructuras laterales. Llegados a este punto también comenzamos a pensar en la forma en la que en la realidad anclaremos estas chapas a las barras y pensamos que la mejor forma era sustituir las barras superiores de las estructuras laterales por perfiles en U sobre los cuales se pudiese introducir las patillas de las plataformas, tal y como ocurre en los andamios, por lo que cambiamos estos perfiles 40x40x3 por perfiles en U 40x40x40x2.

Al comprobar estos perfiles vemos que hay algunos que no tienen la resistencia suficiente tal y como podemos apreciar en la siguiente figura:



Figura 59: Segunda grada calculada

Probamos con distintos perfiles como el ULF 40x40x40x4, ULF 30x40x30x3, pero finalmente escogemos el que consideramos óptimo que es el ULF 40x40x40x3, tanto por dimensiones, prácticamente iguales a los perfiles cuadrados, como por resistencia.

Con esto ya tenemos la estructura final que en el próximo capítulo veremos cómo se comporta analizando los resultados más importantes que nos ofreció CYPE 3D.

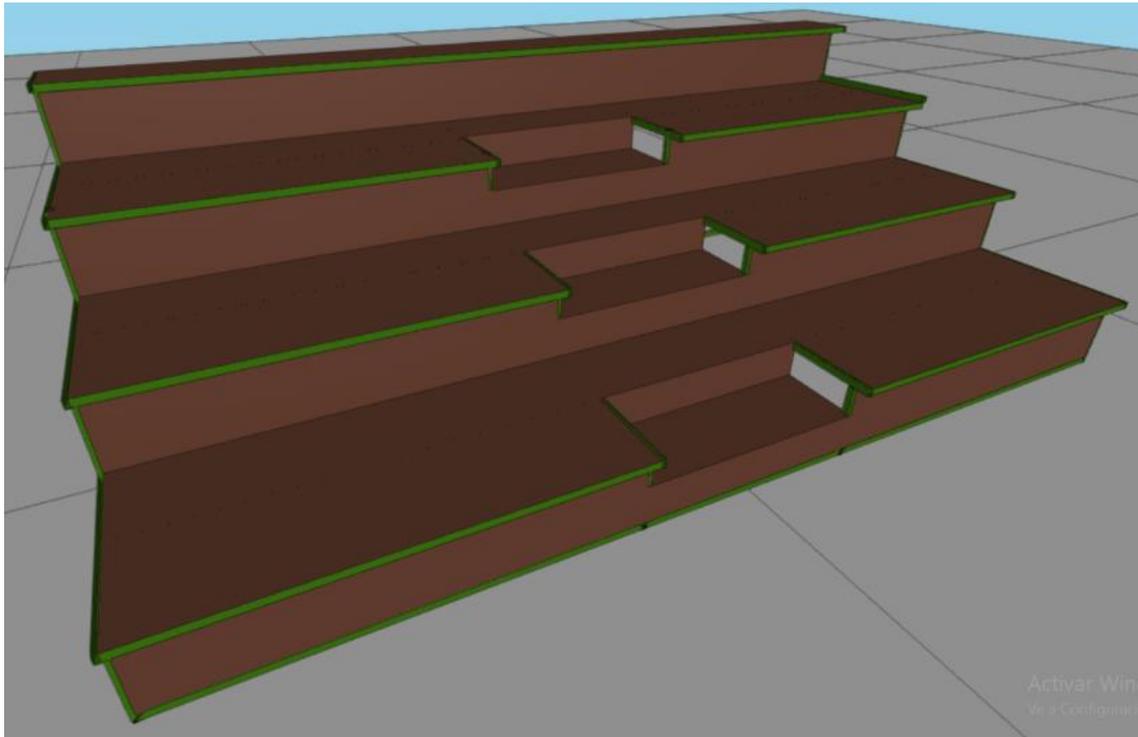


Figura 60: Estructura final

3. Resultados

En este capítulo veremos los resultados extraídos de CYPE 3D de nuestra estructura final, los cuales serán la comprobación de resistencia y flecha de las barras más importantes de la grada, las reacciones en los apoyos, y la deformación de las láminas.

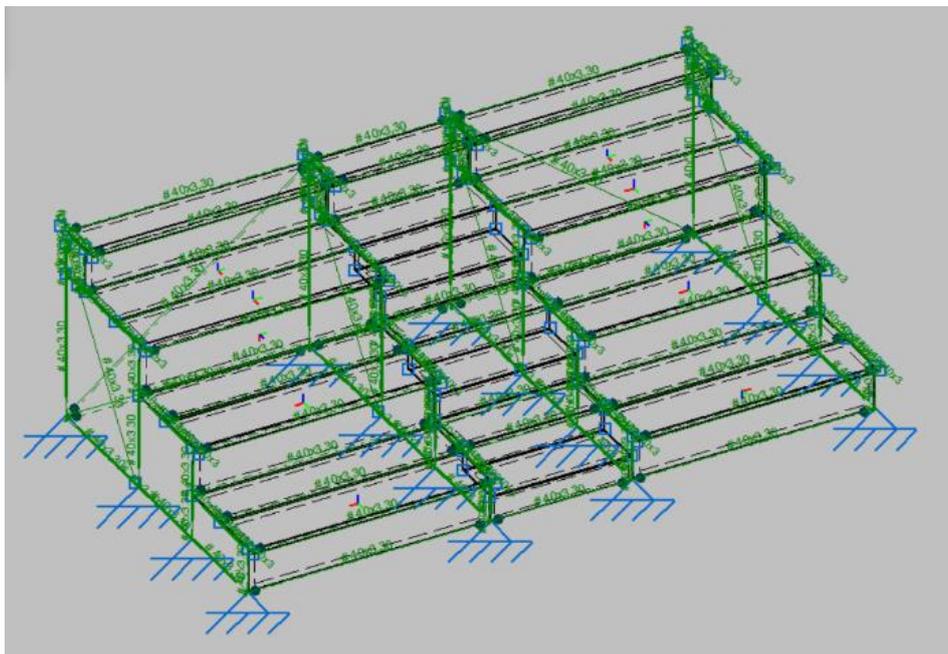


Figura 61: Comprobación de los elementos de la estructura

En esta imagen podemos ver como todos los elementos de la estructura están en verde, y por lo tanto cumplen con todas las comprobaciones de resistencia que vimos en el capítulo 3 del anexo I, y con la flecha límite de $L/200$ que establecimos.

Colocando el ratón sobre cada barra se puede ver el aprovechamiento de resistencia y de flecha que tiene cada elemento estructural.

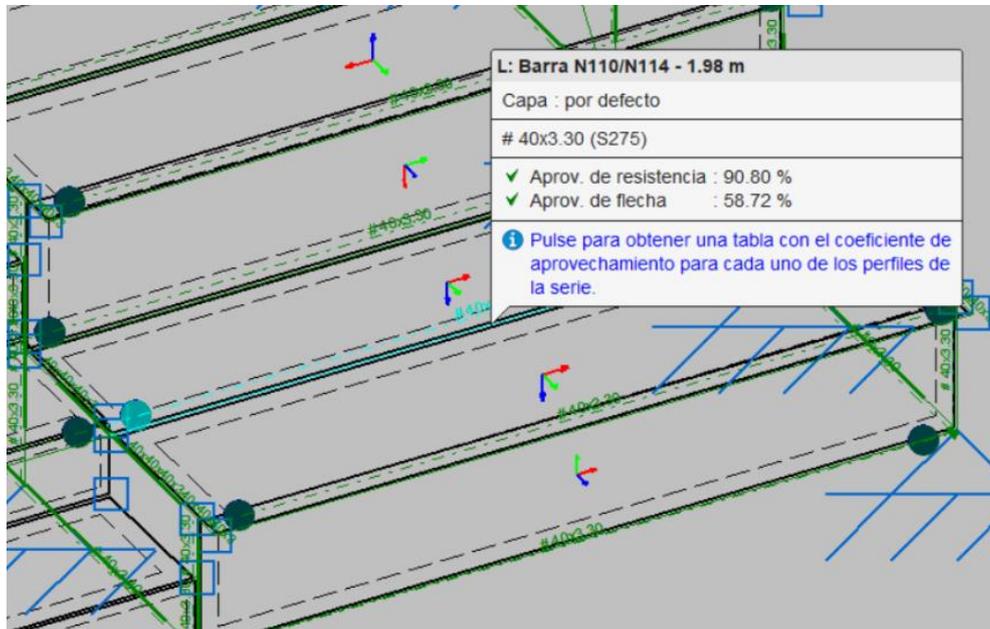


Figura 62: Barra con mayor aprovechamiento de resistencia

Observamos que la barra con un mayor aprovechamiento de su resistencia es precisamente una de las barras que colocamos debajo de las plataformas porque sufrían una deformación excesiva (la barra que sustenta la plataforma de la primera fila de asientos). Al cumplir esta barra con la flecha que establece la normativa significa que la chapa que irá colocada encima de ella también cumplirá, puesto que en resultados posteriores se verá que la mayor deformación se produce en la zona central donde se encuentra esta barra. Vemos también que se solicitan bastante los perfiles en U centrales que soportan tanto las plataformas para los asientos como las escaleras.

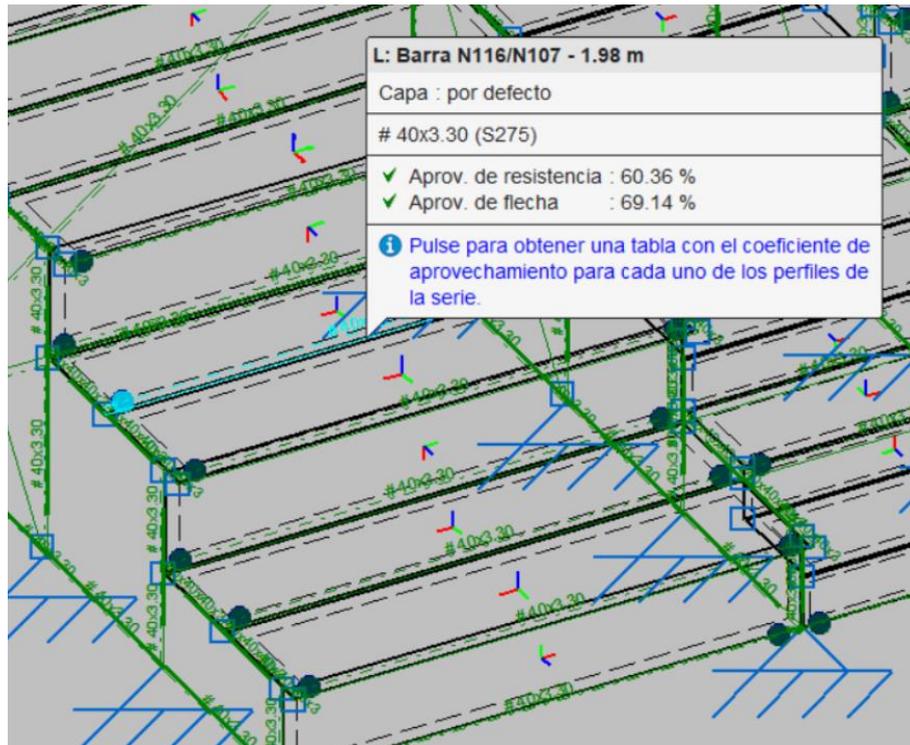


Figura 63: Barra con mayor aprovechamiento de flecha

Las barras que sufren una mayor deformación y por lo tanto tienen un mayor aprovechamiento de flecha son de nuevo las barras que colocamos como soporte de las plataformas (concretamente las de la segunda fila), lo cual era lo esperable puesto que se trata de un área considerable donde existe una gran carga superficial (de 4 kN/m² considerando exclusivamente el peso de los espectadores).

A continuación, se muestran los resultados de las comprobaciones ELU que nos ofreció el programa y que explicamos en el capítulo 3 del anexo I.

Debido a la simetría de la estructura en este anexo se mostrarán las barras de dos de las cuatro estructuras soportes, una exterior y una central, con las barras de unión entre estas dos y las barras de soporte de las escaleras, y las barras de la parte trasera.

Previamente se muestra la nomenclatura de cada una de las secciones de las barras que se consideró en CYPE 3D, y de las que después se mostrarán los resultados.

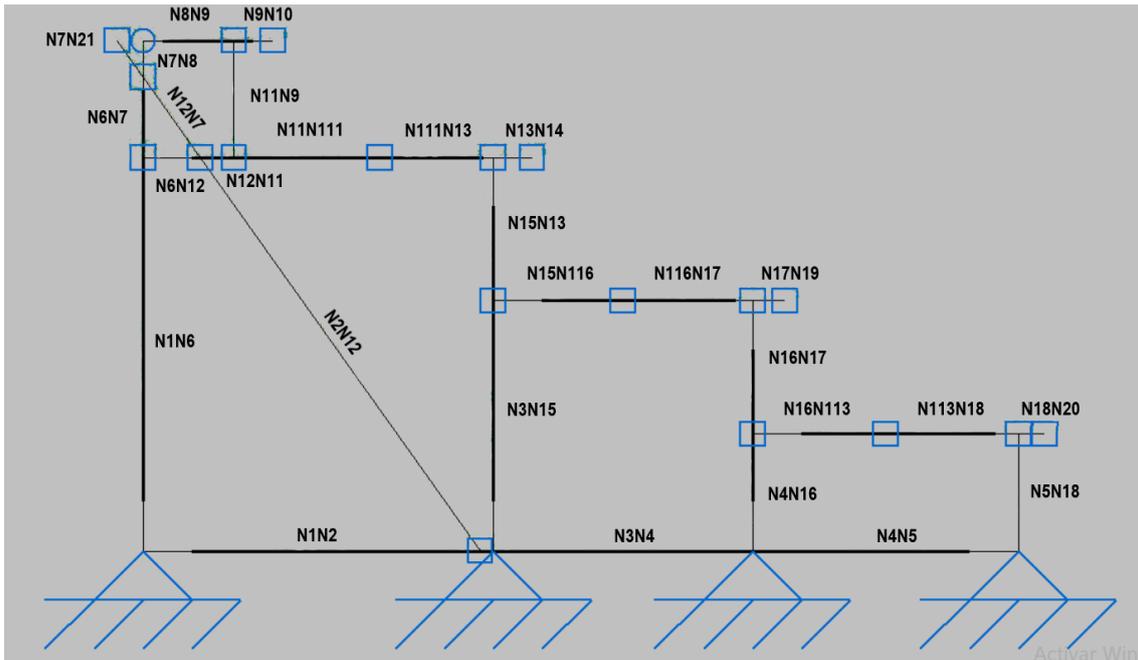


Figura 64: Nomenclatura de las barras de la primera estructura lateral

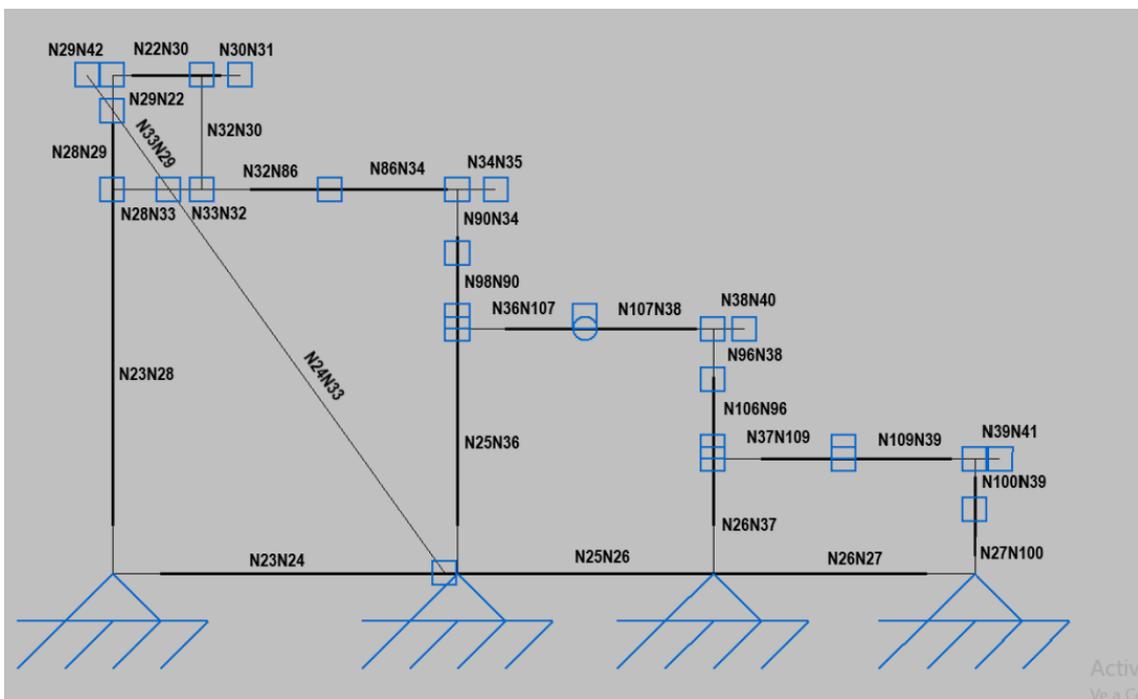


Figura 65: Nomenclatura de las barras de la segunda estructura lateral

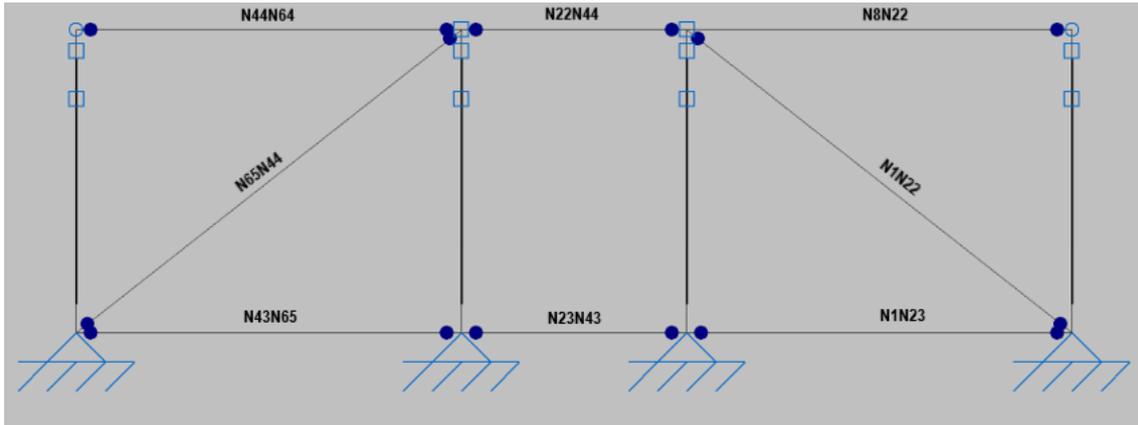


Figura 66: Nomenclatura de las barras de la parte trasera

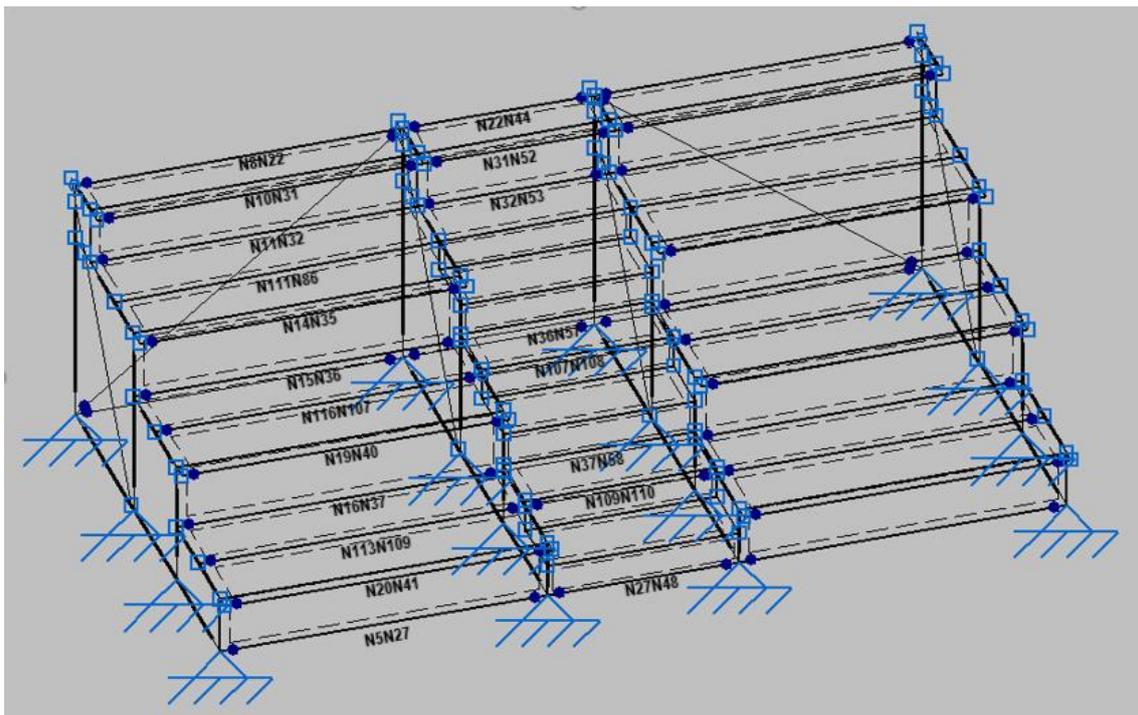


Figura 67: Nomenclatura de las barras soporte de las plataformas y las escaleras

En primer lugar, se muestra el listado completa de las barras que componen la primera estructura lateral:

Barra N1/N2

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N1	N2	1.040	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β		0.70	0.70	0.00	0.00	
	L _k		0.728	0.728	0.000	0.000	
	C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
	C ₁		-		1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)													Estado	
	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 _y V _z		M _z V _y
N1/N2	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	η = 1.0	η = 0.2	x: 1.04 m η = 8.1	x: 0.29 m η = 1.3	x: 0.04 m η = 0.9	x: 1.04 m η = 0.2	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.04 m η = 9.5	η < 0.1	η = 0.1	x: 0.04 m η = 0.9	x: 1.04 m η = 0.2	CUMPLE h = 9.5

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_z: Resistencia a corte Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_yM_zV_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 M_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

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

debe satisfacer:

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

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 34.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 3.00 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 2.04 cm²

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

A_{rc,ef} : 1.20 cm²

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

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

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

f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Producido por una versión no profesional de AutoCAD

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{1.15} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.002 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+1.05·Q3+1.5·V2.

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

$N_{c,Ed}$: 0.18 kN

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

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

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.57

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

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

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.000

Donde:

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

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

N_{cr} : 361.73 kN

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

$N_{cr,y}$: 361.73 kN

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

$N_{cr,z}$: 361.73 kN

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

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.081} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V1$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q5 + 1.5 \cdot V4$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.013} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.290 m del nudo N1, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·V4.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.290 m del nudo N1, para la combinación de acciones PP+1.05·Q4+1.5·V3.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

$h : \underline{0.009} \checkmark$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.040 m del nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V3.

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

$V_{Ed} : \underline{0.27} \text{ kN}$

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

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

$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$d : \underline{34.00} \text{ mm}$

t_w : Espesor del alma.

$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

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

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

$11.33 < 55.46 \checkmark$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$l_w : \underline{11.33}$

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

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

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

$h : \underline{1.20}$

e : Factor de reducción.

$e : \underline{0.92}$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V4.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.07} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

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

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{55.46}$$

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

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

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

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

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

$$0.27 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V3$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.27} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

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

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

$$0.03 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.016} \quad \checkmark$$

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

$$h : \underline{0.095} \quad \checkmark$$

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

$$h : \underline{0.095} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V1$.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo.

$$N_{t,Ed} : \underline{1.04} \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

Siendo:

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

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

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

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

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

$$a : \underline{1.660}$$

$$b : \underline{1.660}$$

$$n : \underline{0.009}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \underline{0.43}$$

$$a_f : \underline{0.43}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$b : \underline{4.00} \text{ cm}$$

$$h : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

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

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

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

$$K_{yy} : \underline{1.00}$$

$$K_{yz} : \underline{1.00}$$

$$K_{zy} : \underline{1.00}$$

$$K_{zz} : \underline{1.00}$$

$$c_{LT} : \underline{1.00}$$

Procedido por una versión no profesional de CYPE

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V3.

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

$$0.27 \text{ kN} \leq 15.41 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

$$V_{Ed,z} : \underline{0.27} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{30.82} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+1.5·V4.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.040 m del nudo N1, para la combinación de acciones T-35-PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V3.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.27} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{30.82} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.12} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.002 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2, para la combinación de acciones PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V4.

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

V_{Ed} : 0.07 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: 32.68 kN

Donde:

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

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.12 MPa

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Barra N3/N4

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N3	N4	0.800	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L _k	0.800	0.800	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)														Estado
	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 _y V _z	M _z V _y	
N3/N4	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	η = 0.9	η = 1.9	x: 0 m η = 10.4	x: 0.8 m η = 1.9	x: 0 m η = 1.3	x: 0 m η = 0.3	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 11.3	η < 0.1	η = 0.3	x: 0 m η = 1.3	x: 0 m η = 0.3	CUMPLE h = 11.3

I_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_z: Resistencia a corte Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_yM_zV_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 M_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

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

Se debe satisfacer:

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

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

- h_w: Altura del alma. h_w : 34.00 mm
- t_w: Espesor del alma. t_w : 3.00 mm
- A_w: Área del alma. A_w : 2.04 cm²
- A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida. A_{fc,ef} : 1.20 cm²
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. k : 0.30
- E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Producido por un profesional de EYPI

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V1.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{0.94} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.019} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{2.08} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

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

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.62}$$

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

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

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.007}$$

Donde:

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

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

$$N_{cr} : \underline{299.55} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,y} : \underline{299.55} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{299.55} \text{ kN}$$

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

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

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.104} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones PP+1.05·Q5+1.5·V2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.019} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones PP+1.05·Q5+1.5·V1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.013} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.41} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

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

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

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

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

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

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

$$h : \underline{1.20}$$

e : Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V2.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.09} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

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

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{55.46}$$

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

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

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

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

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

$$0.41 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.41} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

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

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

$$0.09 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q5 + 0.9 \cdot V2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.09} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.023} \quad \checkmark$$

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

$$h : \underline{0.113} \quad \checkmark$$

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

$$h : \underline{0.073} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N3, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V1$.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.74} \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Ed} : \underline{0.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot \eta^2} \leq 6$$

Siendo:

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

$N_{pl,Rd}$: 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.

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

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

$$a : \underline{1.660}$$

$$b : \underline{1.660}$$

$$n : \underline{0.007}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \underline{0.43}$$

$$a_f : \underline{0.43}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$b : \underline{4.00} \text{ cm}$$

$$h : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

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

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

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

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

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

$$K_{yy} : \underline{1.00}$$

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

$$K_{yz} : \underline{0.60}$$

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

$$K_{zy} : \underline{0.60}$$

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

$$K_{zz} : \underline{1.00}$$

Términos auxiliares:

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

$$m_y : \underline{1.00}$$

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

$$m_z : \underline{1.00}$$

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

$$C_{yy} : \underline{1.00}$$

$$c_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max}^{-2}}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} \quad c_{yz} : \underline{1.00}$$

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

$$c_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max}^{-2} - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} \quad c_{zz} : \underline{1.00}$$

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

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

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \quad c_{LT} : \underline{0.00}$$

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

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \quad e_{LT} : \underline{0.00}$$

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5 \quad w_y : \underline{1.33}$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5 \quad w_z : \underline{1.33}$$

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

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)} \quad 0.00 \leq 0.20$$

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} \quad C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} = C_{m,z,0} \quad C_{m,z} : \underline{1.00}$$

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

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y,0} : \underline{1.00}$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. $C_1 : \underline{1.00}$

c_y , c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $c_y : \underline{1.00}$
 $c_z : \underline{1.00}$

c_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral. $c_{LT} : \underline{1.00}$

$\bar{\lambda}_{\max}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. $\bar{\lambda}_{\max} : \underline{0.62}$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : \underline{0.62}$

$\bar{\lambda}_z : \underline{0.62}$

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez reducida. $\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.00}$

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme. $\bar{\lambda}_0 : \underline{0.00}$

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{el,y} : \underline{4.62} \text{ cm}^3$
 $W_{el,z} : \underline{4.62} \text{ cm}^3$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y} : \underline{299.55} \text{ kN}$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z} : \underline{299.55} \text{ kN}$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.
 I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_y : 9.25 cm⁴
 I_t : 15.71 cm⁴

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

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

0.41 kN ≤ 15.39 kN ✓

Donde:

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

$V_{Ed,z}$: 0.41 kN

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

$V_{c,Rd,z}$: 30.77 kN

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

η : 0.003 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot Q1 + 0.9 \cdot V3$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

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

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

$M_{T,Rd}$: 1.24 kN·m

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.013 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

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

V_{Ed} : 0.41 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: 30.77 kN

Donde:

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

$V_{pl,Rd}$: 30.85 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.35 MPa

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.003 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N3, para la combinación de acciones PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V2.

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

V_{Ed} : 0.09 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: 32.63 kN

Donde:

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

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.35 MPa

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Barra N4/N5

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N4	N5	0.820	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L _k	0.820	0.820	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-			1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)														Estado
	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 _z V _y V _z	M _t	M _y V _z	M _z V _y	
N4/N5	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	η = 1.0	η = 1.7	x: 0.78 m η = 10.7	x: 0.78 m η = 5.9	x: 0 m η = 1.5	x: 0 m η = 0.6	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.78 m η = 17.0	η < 0.1	η = 0.3	x: 0 m η = 1.5	x: 0 m η = 0.6	CUMPLE h = 17.0

Notación:
 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_y: Resistencia a corte Y
 V_z: Resistencia a corte Z
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_zV_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 M_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

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

Se debe satisfacer:

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

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

- h_w: Altura del alma. h_w : 34.00 mm
- t_w: Espesor del alma. t_w : 3.00 mm
- A_w: Área del alma. A_w : 2.04 cm²
- A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida. A_{fc,ef} : 1.20 cm²
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. k : 0.30
- E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Producido por un profesional de YIP

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V1.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{1.13} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.017 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

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

$N_{c,Ed}$: 1.91 kN

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

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

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.64

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

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

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.007

Donde:

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

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

N_{cr} : 285.12 kN

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

$N_{cr,y}$: 285.12 kN

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

$N_{cr,z}$: 285.12 kN

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

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.107} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.780 m del nudo N4, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q2 + 1.5 \cdot V1$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.780 m del nudo N4, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.059} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.780 m del nudo N4, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.780 m del nudo N4, para la combinación de acciones PP+1.05·Q3+1.5·V2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.015} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.46} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

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

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

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

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

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

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

$$h : \underline{1.20}$$

e : Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·V1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.18} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

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

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

l_{\max} : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{55.46}$$

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

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

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

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

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

$$0.46 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q2 + 1.5 \cdot V1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.46} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

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

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

$$0.18 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q5 + 1.5 \cdot V1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.18} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

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

$$h : \underline{0.170} \quad \checkmark$$

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

$$h : \underline{0.170} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.780 m del nudo N4, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q2 + 1.5 \cdot V1$.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.38} \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

Siendo:

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

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

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

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

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

$$a : \underline{1.660}$$

$$b : \underline{1.660}$$

$$n : \underline{0.003}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \underline{0.43}$$

$$a_f : \underline{0.43}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$b : \underline{4.00} \text{ cm}$$

$$h : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

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

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

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

$$K_{yy} : \underline{1.00}$$

$$K_{yz} : \underline{1.00}$$

$$K_{zy} : \underline{1.00}$$

$$K_{zz} : \underline{1.00}$$

$$c_{LT} : \underline{1.00}$$

Procedido por una versión no profesional de CYPE

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

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

$$0.46 \text{ kN} \leq 15.39 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

$$V_{Ed,z} : \underline{0.46} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{30.78} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+1.5·Q1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.015} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.46} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{30.78} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.35} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.006 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·V1.

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

V_{Ed} : 0.18 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: 32.63 kN

Donde:

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

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.35 MPa

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Barra N4/N16

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N4	N16	0.360	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: (¹) Inercia respecto al eje indicado (²) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	0.70	0.70	0.00	0.00		
	L _K	0.252	0.252	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)														Estado
	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 V _z V _y	M _t	M _y V _z	M _z V _y	
N4/N16	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 5.0	x: 0.36 m η = 3.2	x: 0.36 m η = 15.9	x: 0 m η = 0.6	η = 4.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.36 m η = 22.2	η < 0.1	η = 2.3	x: 0 m η = 0.6	η = 4.1	CUMPLE h = 22.2

Abolladura: I_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_z: Resistencia a corte Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_yV_zV_y: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 M_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
 N.P.: No procede
 Comprobaciones que no proceden (N.P.):
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

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

debe satisfacer:

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

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

- h_w: Altura del alma. h_w : 34.00 mm
- t_w: Espesor del alma. t_w : 3.00 mm
- A_w: Área del alma. A_w : 2.04 cm²
- A_{rc,ef}: Área reducida del ala comprimida. A_{rc,ef} : 1.20 cm²
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. k : 0.30
- E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:
f_{yf} = f_y

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

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

Producido por una versión no profesional de CYPE

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.050 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

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

$N_{c,Ed}$: 5.51 kN

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

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

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.20

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

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

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.002

Donde:

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

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

N_{cr} : 3018.90 kN

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

$N_{cr,y}$: 3018.90 kN

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

$N_{cr,z}$: 3018.90 kN

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

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.032} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q5 + 0.9 \cdot V1$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q4 + 1.5 \cdot V2$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.159} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.19} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

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

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

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

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

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

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

$$h : \underline{1.20}$$

e : Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.041} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q2 + 1.5 \cdot V1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{1.33} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

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

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{55.46}$$

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

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

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

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

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

$$0.19 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q5 + 0.9 \cdot V1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.19} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

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

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

$$1.33 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q2 + 1.5 \cdot V1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{1.33} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.050} \quad \checkmark$$

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

$$h : \underline{0.171} \quad \checkmark$$

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

$$h : \underline{0.222} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N16, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{5.49} \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

$$a : \underline{1.665}$$

$$b : \underline{1.665}$$

Siendo:

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

$N_{pl,Rd}$: 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.

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

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

$$n : \underline{0.050}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \underline{0.43}$$

$$a_f : \underline{0.43}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$b : \underline{4.00} \text{ cm}$$

$$h : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

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

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

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

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

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

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

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

$$K_{yy} : \underline{0.97}$$

$$K_{yz} : \underline{0.58}$$

$$K_{zy} : \underline{0.58}$$

$$K_{zz} : \underline{0.97}$$

Términos auxiliares:

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

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

$$m_y : \underline{1.00}$$

$$m_z : \underline{1.00}$$

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

$$C_{yy} : \underline{1.03}$$

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

$$C_{yz} : \underline{1.03}$$

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

$$C_{zy} : \underline{1.03}$$

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

C_{zz} : 1.03

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

a_{LT} : 0.00

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

b_{LT} : 0.00

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

c_{LT} : 0.00

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

d_{LT} : 0.00

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

e_{LT} : 0.00

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

w_y : 1.33

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

w_z : 1.33

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

n_{pl} : 0.05

Puesto que:

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

0.00 ≤ 0.20

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$

C_{m,y} : 1.00

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

C_{m,z} : 1.00

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

C_{m,LT} : 1.00

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

C_{m,y,0} : 1.00

C_{m,z,0} : 1.00

C₁ : 1.00

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

c_y, c_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

c_y : 1.00

c_z : 1.00

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

c_{LT} : 1.00

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

$\bar{\lambda}_{\max}$: 0.20

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

$\bar{\lambda}_y$: 0.20

$\bar{\lambda}_z$: 0.20

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.00

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

$\bar{\lambda}_0$: 0.00

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

W_{el,y} : 4.62 cm³

W_{el,z} : 4.62 cm³

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

N_{cr,y} : 3018.90 kN

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

N_{cr,z} : 3018.90 kN

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

I_y : 9.25 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 15.71 cm⁴

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q2 + 1.5 \cdot V1$.

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

$$1.33 \text{ kN} \leq 16.07 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,y} : \underline{1.33} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,y} : \underline{32.14} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.023} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.006 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

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

V_{Ed} : 0.19 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.03 kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: 30.17 kN

Donde:

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

$V_{pl,Rd}$: 30.85 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 3.34 MPa

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.041 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

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

V_{Ed} : 1.33 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.02 kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: 32.14 kN

Donde:

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

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 2.62 MPa

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Barra N5/N18

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N5	N18	0.360	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
	β	0.70		0.70	0.00	0.00	
	L _k	0.252		0.252	0.000	0.000	
	C _m	1.000		1.000	1.000	1.000	
	C ₁			-	1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)												Estado		
	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t		M _y V _z	M _z V _y
N5/N18	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	x: 0.36 m η = 2.5	x: 0.18 m η = 4.9	x: 0.36 m η = 2.1	x: 0.36 m η = 11.7	x: 0 m η = 0.7	x: 0 m η = 2.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.36 m η = 17.5	η < 0.1	x: 0 m η = 4.3	x: 0 m η = 0.7	x: 0 m η = 2.8	CUMPLE h = 17.5
Definición: λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _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 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)															

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

Debe satisfacer:

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

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

- h_w: Altura del alma. h_w : 34.00 mm
- t_w: Espesor del alma. t_w : 3.00 mm
- A_w: Área del alma. A_w : 2.04 cm²
- A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida. A_{fc,ef} : 1.20 cm²
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. k : 0.30
- E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Producido por un profesional de AENOR

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V1.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{2.73} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{t,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.049 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

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

$N_{c,Ed}$: 5.43 kN

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

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

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.20

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

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

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.002

Donde:

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

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

N_{cr} : 3018.90 kN

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

$N_{cr,y}$: 3018.90 kN

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

$N_{cr,z}$: 3018.90 kN

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

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.117 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V1.

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

M_{Ed}^+ : 0.11 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

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

M_{Ed}^- : 0.19 kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$: 1.62 kN·m

Donde:

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

Clase : 1

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

$W_{pl,z}$: 6.17 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.22} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

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

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

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

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

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

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

$$h : \underline{1.20}$$

e : Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

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

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.027 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

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

V_{Ed} : 0.87 kN

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

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

$V_{c,Rd}$: 32.70 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 2.16 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

A : 4.20 cm²

d: Altura del alma.

d : 34.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 3.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

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

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

13.33 < 55.46 ✓

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

I_w : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

I_{\max} : 55.46

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

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

h : 1.20

e: Factor de reducción.

e : 0.92

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

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

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

$$0.22 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.22} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

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

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

$$0.87 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.87} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.030} \quad \checkmark$$

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

$$h : \underline{0.137} \quad \checkmark$$

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

$$h : \underline{0.175} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N18, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \underline{5.38} \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

$$a : \underline{1.664}$$

$$b : \underline{1.664}$$

Siendo:

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

$N_{pl,Rd}$: 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.

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

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

$$n : \underline{0.049}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \underline{0.43}$$

$$a_f : \underline{0.43}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$b : \underline{4.00} \text{ cm}$$

$$h : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

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

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

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

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

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

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

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

$$K_{yy} : \underline{0.97}$$

$$K_{yz} : \underline{0.58}$$

$$K_{zy} : \underline{0.58}$$

$$K_{zz} : \underline{0.97}$$

Términos auxiliares:

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

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

$$m_y : \underline{1.00}$$

$$m_z : \underline{1.00}$$

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

$$C_{yy} : \underline{1.03}$$

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

$$C_{yz} : \underline{1.03}$$

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

$$C_{zy} : \underline{1.03}$$

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

C_{zz} : 1.03

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

a_{LT} : 0.00

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

b_{LT} : 0.00

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

c_{LT} : 0.00

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

d_{LT} : 0.00

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

e_{LT} : 0.00

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

w_y : 1.33

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

w_z : 1.33

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

n_{pl} : 0.05

Puesto que:

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

0.00 ≤ 0.20

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$

C_{m,y} : 1.00

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

C_{m,z} : 1.00

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

C_{m,LT} : 1.00

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

C_{m,y,0} : 1.00

C_{m,z,0} : 1.00

C₁ : 1.00

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

c_y, c_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

c_y : 1.00

c_z : 1.00

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

c_{LT} : 1.00

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

$\bar{\lambda}_{\max}$: 0.20

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

$\bar{\lambda}_y$: 0.20

$\bar{\lambda}_z$: 0.20

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

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.00

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

$\bar{\lambda}_0$: 0.00

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

W_{el,y} : 4.62 cm³

W_{el,z} : 4.62 cm³

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

N_{cr,y} : 3018.90 kN

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

N_{cr,z} : 3018.90 kN

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

I_y : 9.25 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 15.71 cm⁴

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

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

$$0.87 \text{ kN} \leq 15.65 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,y} : \underline{0.87} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,y} : \underline{31.29} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.043} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

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

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

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

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.007 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V4.

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

V_{Ed} : 0.22 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.02 kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: 30.38 kN

Donde:

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

$V_{pl,Rd}$: 30.85 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 2.28 MPa

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

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

h : 0.028 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

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

V_{Ed} : 0.87 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.05 kN·m

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

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

$V_{pl,T,Rd}$: 31.29 kN

Donde:

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

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 6.52 MPa

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

Barra N18/N20

Perfil: 40x40x40x3 Material: Acero (S275)									
	Nodos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I ₁ ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)
	N18	N20	0.080	3.30	8.73	5.40	0.10	-5.00	0.00
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad								
				Pandeo			Pandeo lateral		
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β			2.00	2.00	0.00	0.00		
	L _k			0.160	0.160	0.000	0.000		
	C ₁			-			1.000		
	Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012)											Estado	
	b / t	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	NM _y M _z V _y V _z		M _t NM _y M _z V _y V _z
N18/N20	b / t ≤ (b / t) _{lím.} Cumple	x: 0.04 m η = 0.8	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 10.2	x: 0 m η = 2.2	x: 0 m η = 11.4	x: 0.04 m η = 0.5	x: 0 m η = 12.4	x: 0 m η = 11.4	x: 0 m η = 6.9	η < 0.1	x: 0 m η = 15.7	CUMPLE h = 15.7

Notación:
 b / t: Relación anchura / espesor
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión. Eje Y
 M_z: Resistencia a flexión. Eje Z
 M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial
 V_y: Resistencia a corte Y
 V_z: Resistencia a corte Z
 N_tM_yM_z: Resistencia a tracción y flexión
 N_cM_yM_z: Resistencia a compresión y flexión
 NM_yM_zV_yV_z: Resistencia a cortante, axil y flexión
 MNM_yM_zV_yV_z: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Relación anchura / espesor (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

$h/t \leq 500$ h / t : 13.3 ✓
 $b/t \leq 50$ b / t : 13.3 ✓

Donde:

h: Altura del alma. h : 40.00 mm
 b: Ancho de las alas. b : 40.00 mm
 t: Espesor. t : 3.00 mm

Producido por una versión no profesional de VPE

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.040 m del nudo N18, para la combinación de acciones PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

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

$$N_{t,Ed} : \underline{0.73} \text{ kN}$$

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q2+1.5·V1.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.31} \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Resistencia a pandeo. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2)

Si se cumple que $\bar{\lambda} \leq 0.20$ 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_{yb}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.14}$$

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

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.000}$$

Donde:

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

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

$$N_{cr,z} : \underline{4371.21} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{7069.47} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión. Eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

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

$$h : \underline{0.102} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{4.37} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

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

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

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.5 \cdot V2$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V1$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión biaxial (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.114} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.040 m del nudo N18, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.17} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

Donde:

b_d : Ancho de las alas horizontales.

$$b_d : \underline{37.18} \text{ mm}$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.124} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.94} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{b,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{34.36} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

ϕ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\phi : \underline{90.0} \text{ grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{159.50} \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w : \underline{0.14}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.114} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.107} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.03} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a compresión y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.068} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.069} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.31} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a cortante, axil y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$$V_{y,Ed} \leq \frac{V_{y,c,Rd}}{2}$$

$$0.002 \leq 1.719$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}$$

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{y,c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} \leq \frac{V_{z,w,Rd}}{2}$$

$$0.197 \leq 0.798$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{z,Ed} : \underline{1.94} \text{ kN}$$

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{z,w,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{\sigma_{tot,Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{\tau_{tot,Ed}}{\tau_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.157} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{f_{tot,Ed}}{f_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.143} \quad \checkmark$$

El coeficiente de aprovechamiento pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1 en el punto de la sección transversal de coordenadas Y = -13.50 mm, Z = 0.00 mm respecto al centro de gravedad.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.27} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$V_{y,Ed}$, $V_{z,Ed}$: Esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$V_{y,Ed} : \underline{-0.02} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} : \underline{1.94} \text{ kN}$$

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las tensiones normales $\sigma_{tot,Ed}$, calculadas para la sección eficaz, vienen dadas por:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed}$$

$$S_{tot,Ed} : \underline{-0.09} \text{ MPa}$$

Donde:

$S_{N,Ed}$: Tensiones normales debidas al axil.

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_g}$$

$$S_{N,Ed} : \underline{0.80} \text{ MPa}$$

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.27} \text{ kN}$$

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

$S_{My,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Y.

$$\sigma_{My,Ed} = -\frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot Z$$

$$S_{My,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

Z: Coordenada, según el eje Z, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Z : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$S_{Mz,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Z.

$$\sigma_{Mz,Ed} = -\frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot Y$$

$$S_{Mz,Ed} : \underline{-0.89} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

Y: Coordenada, según el eje Y, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Y : \underline{-13.50} \text{ mm}$$

Las tensiones tangenciales $\tau_{tot,Ed}$, calculadas para la sección bruta, vienen dadas por:

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{Vy,Ed} + \tau_{Vz,Ed} + \tau_{t,Ed}$$

$$t_{tot,Ed} : \underline{-23.81} \text{ MPa}$$

Donde:

$t_{Vy,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{Vy,Ed} = -\frac{\bar{S}_z}{I_z} \cdot V_{y,Ed}$$

$$t_{Vy,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Y.

$$V_{y,Ed} : \underline{-0.02} \text{ kN}$$

\bar{S}_z : Momento estático, respecto del eje Z, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_z : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{Vz,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{Vz,Ed} = -\frac{\bar{S}_y}{I_y} \cdot V_{z,Ed}$$

$$t_{Vz,Ed} : \underline{-18.74 \text{ MPa}}$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Z.

$$V_{z,Ed} : \underline{1.94 \text{ kN}}$$

\bar{S}_y : Momento estático, respecto del eje Y, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_y : \underline{2.54 \text{ cm}^3}$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73 \text{ cm}^4}$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00 \text{ mm}}$$

$t_{t,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al momento torsor.

$$\tau_{t,Ed} = \pm \frac{t}{I_t} \cdot M_t$$

$$t_{t,Ed} : \underline{-5.08 \text{ MPa}}$$

Donde:

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{0.10 \text{ cm}^4}$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00 \text{ mm}}$$

Las tensiones totales $f_{tot,Ed}$ vienen dadas por:

$$f_{tot,Ed} = \sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2}$$

$$f_{tot,Ed} : \underline{41.25 \text{ MPa}}$$

La resistencia de cálculo a tensiones normales σ_{Rd} viene dada por:

$$\sigma_{Rd} = f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$\sigma_{Rd} : \underline{261.90 \text{ MPa}}$$

La resistencia de cálculo a tensiones tangenciales τ_{Rd} viene dada por:

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yb} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

$$t_{Rd} : \underline{151.21 \text{ MPa}}$$

La resistencia de cálculo a tensiones totales f_{Rd} viene dada por:

$$f_{Rd} = 1.1 \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$f_{Rd} : \underline{288.10 \text{ MPa}}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00 \text{ MPa}}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Barra N113/N18

Perfil: 40x40x40x3 Material: Acero (S275)										
	Nodos		Longitud (m)	Características mecánicas						
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)	
	N113	N18	0.410	3.30	8.73	5.40	0.10	-5.00	0.00	
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad									
				Pandeo			Pandeo lateral			
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.		
	β			0.50	0.50	0.00		0.00		
	L _k			0.205	0.205	0.000		0.000		
	C ₁			-			1.000			
	Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico									

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012)												Estado
	b / t	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N,M,M _z	N,M _y M _z	NM,M _z V _y V _z	M,NM,M _y V _y V _z	
N113/N18	b / t ≤ (b / t) _{max.} Cumple	x: 0.205 m η = 4.8	x: 0.205 m η = 7.2	x: 0 m η = 20.3	x: 0.41 m η = 26.3	x: 0 m η = 43.2	x: 0.41 m η = 2.2	x: 0 m η = 5.5	x: 0 m η = 40.0	x: 0.41 m η = 29.3	η < 0.1	x: 0 m η = 38.5	CUMPLE h = 43.2

Notación:
 b / t: Relación anchura / espesor
 N: Resistencia a tracción
 N: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión. Eje Y
 M_z: Resistencia a flexión. Eje Z
 M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial
 V_y: Resistencia a corte Y
 V_z: Resistencia a corte Z
 N,M,M_z: Resistencia a tracción y flexión
 N,M,M_y: Resistencia a compresión y flexión
 N,M,M_yV_y: Resistencia a cortante, axil y flexión
 N,M,M_yV_yV_z: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
 x: Distancia al origen de la barra
 η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Relación anchura / espesor (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h/t ≤ 500

h / t : 13.3 ✓

b/t ≤ 50

b / t : 13.3 ✓

Donde:

h: Altura del alma.

h : 40.00 mm

b: Ancho de las alas.

b : 40.00 mm

t: Espesor.

t : 3.00 mm

Producido por una versión profesional de CYPE

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.048} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.205 m del nudo N113, para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.16} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.072} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.205 m del nudo N113, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{6.26} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2)

Si se cumple que $\bar{\lambda} \leq 0.20$ 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_{yb}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.18}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.002}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{2662.77} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{4306.45} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión. Eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.203} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N113, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 0.9 \cdot V2$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{4.37} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.263} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q2 + 1.5 \cdot V1$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resolución de CYPE
Procedido por una versión no profesional

Resistencia a flexión biaxial (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.432} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N113, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+0.9·V2.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.74} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

Donde:

b_d : Ancho de las alas horizontales.

$$b_d : \underline{37.18} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.055} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N113, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.86} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{b,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{34.36} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

ϕ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\phi : \underline{90.0} \text{ grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{159.50} \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w : \underline{0.14}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.373} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.400} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N113, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{2.76} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a compresión y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.293} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.264} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N18, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{5.63} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a cortante, axil y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V3.

$$V_{y,Ed} \leq \frac{V_{y,c,Rd}}{2}$$

$$0.046 \leq 1.719$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.45} \text{ kN}$$

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{y,c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} \leq \frac{V_{z,w,Rd}}{2}$$

$$0.087 \leq 0.798$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{z,Ed} : \underline{0.86} \text{ kN}$$

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{z,w,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{\sigma_{tot,Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.385} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{\tau_{tot,Ed}}{\tau_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.032} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{f_{tot,Ed}}{f_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.351} \quad \checkmark$$

El coeficiente de aprovechamiento pésimo se produce en el nudo N113, para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2 en el punto de la sección transversal de coordenadas Y = 25.00 mm, Z = -18.50 mm respecto al centro de gravedad.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{2.76} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{-0.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$V_{y,Ed}$, $V_{z,Ed}$: Esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.62} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} : \underline{-0.82} \text{ kN}$$

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las tensiones normales $\sigma_{tot,Ed}$, calculadas para la sección eficaz, vienen dadas por:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{M_y,Ed} + \sigma_{M_z,Ed}$$

$$S_{tot,Ed} : \underline{-100.88} \text{ MPa}$$

Donde:

$S_{N,Ed}$: Tensiones normales debidas al axil.

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_g}$$

$$S_{N,Ed} : \underline{8.37} \text{ MPa}$$

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{2.76} \text{ kN}$$

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

$S_{M_y,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Y.

$$\sigma_{M_y,Ed} = -\frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot Z$$

$$S_{M_y,Ed} : \underline{-49.20} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed} : \underline{-0.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

Z: Coordenada, según el eje Z, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Z : \underline{-18.50} \text{ mm}$$

$S_{M_z,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Z.

$$\sigma_{M_z,Ed} = -\frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot Y$$

$$S_{M_z,Ed} : \underline{-60.04} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed} : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

Y: Coordenada, según el eje Y, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Y : \underline{25.00} \text{ mm}$$

Las tensiones tangenciales $\tau_{tot,Ed}$, calculadas para la sección bruta, vienen dadas por:

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{V_y,Ed} + \tau_{V_z,Ed} + \tau_{t,Ed}$$

$$t_{tot,Ed} : \underline{-4.82} \text{ MPa}$$

Donde:

$t_{V_y,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{V_y,Ed} = -\frac{\bar{S}_z}{I_z \cdot t} \cdot V_{y,Ed}$$

$$t_{V_y,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Y.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.62} \text{ kN}$$

\bar{S}_z : Momento estático, respecto del eje Z, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_z : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{V_z,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{Vz,Ed} = -\frac{\bar{S}_y}{I_y} \cdot V_{z,Ed}$$

$$t_{Vz,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Z.

$$V_{z,Ed} : \underline{-0.82} \text{ kN}$$

\bar{S}_y : Momento estático, respecto del eje Y, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_y : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{t,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al momento torsor.

$$\tau_{t,Ed} = \pm \frac{t}{I_t} \cdot M_t$$

$$t_{t,Ed} : \underline{-4.82} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{0.10} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Las tensiones totales $f_{tot,Ed}$ vienen dadas por:

$$f_{tot,Ed} = \sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2}$$

$$f_{tot,Ed} : \underline{101.23} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones normales σ_{Rd} viene dada por:

$$\sigma_{Rd} = f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$s_{Rd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones tangenciales τ_{Rd} viene dada por:

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yb} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

$$t_{Rd} : \underline{151.21} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones totales f_{Rd} viene dada por:

$$f_{Rd} = 1.1 \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$f_{Rd} : \underline{288.10} \text{ MPa}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Barra N16/N113

Perfil: 40x40x40x3 Material: Acero (S275)									
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)
	N16	N113	0.410	3.30	8.73	5.40	0.10	-5.00	0.00
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad								
				Pandeo			Pandeo lateral		
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β			0.50	0.50	0.00	0.00		
	L _k			0.205	0.205	0.000	0.000		
	C ₁			-			1.000		
	Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012)											Estado	
	b / t	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N,M _y M _z	N,M _z M _y	NM _y M _z V _y V _z		M _y NM _z M _y V _y V _z
6/N113	b / t ≤ (b / t) _{max} Cumple	x: 0.205 m η = 4.8	x: 0 m η = 7.0	x: 0 m η = 22.1	x: 0 m η = 29.9	x: 0 m η = 48.7	x: 0 m η = 2.3	x: 0 m η = 5.6	x: 0.41 m η = 25.9	x: 0 m η = 43.0	η < 0.1	x: 0.41 m η = 25.3	CUMPLE h = 48.7

Notación:
 b / t: Relación anchura / espesor
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión. Eje Y
 M_z: Resistencia a flexión. Eje Z
 M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial
 V_y: Resistencia a corte Y
 V_z: Resistencia a corte Z
 N,M_yM_z: Resistencia a tracción y flexión
 N,M_zM_y: Resistencia a compresión y flexión
 N,M_yM_zV_yV_z: Resistencia a cortante, axil y flexión
 M_yNM_zM_yV_yV_z: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
 x: Distancia al origen de la barra
 η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Relación anchura / espesor (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h/t ≤ 500

h / t : 13.3 ✓

b/t ≤ 50

b / t : 13.3 ✓

Donde:

h: Altura del alma.

h : 40.00 mm

b: Ancho de las alas.

b : 40.00 mm

t: Espesor.

t : 3.00 mm

Producido por una versión no profesional de VZ

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.048} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.205 m del nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.14} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.070} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{6.06} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2)

Si se cumple que $\bar{\lambda} \leq 0.20$ 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_{yb}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.18}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.002}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{2662.77} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{4306.45} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión. Eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.221} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V2$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V1$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{4.37} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.299} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión biaxial (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.487} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.17} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.023} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.79} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

Donde:

b_d : Ancho de las alas horizontales.

$$b_d : \underline{37.18} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.056} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.88} \quad \text{kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{b,Rd} : \underline{15.66} \quad \text{kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{34.36} \quad \text{mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \quad \text{mm}$$

ϕ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\phi : \underline{90.0} \quad \text{grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{159.50} \quad \text{MPa}$$

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w : \underline{0.14}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \quad \text{MPa}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \quad \text{MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.239} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.259} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N113, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{3.05} \quad \text{kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.08} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.13} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \quad \text{kN}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.94} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.57} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a compresión y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

h : 0.430 ✓

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.425 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 5.42 kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+$: 0.22 kN·m

$M_{z,Ed}^-$: 0.17 kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión.

$N_{c,Rd}$: 86.47 kN

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd,com}$: 1.14 kN·m

$M_{cz,Rd,com}$: 0.94 kN·m

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd,ten}$: 1.14 kN·m

$M_{cz,Rd,ten}$: 0.57 kN·m

Resistencia a cortante, axil y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V2.

$$V_{y,Ed} \leq \frac{V_{y,c,Rd}}{2}$$

0.053 ≤ 1.719

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{y,Ed}$: 0.52 kN

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$V_{y,c,Rd}$: 33.73 kN

$$V_{z,Ed} \leq \frac{V_{z,w,Rd}}{2}$$

0.089 ≤ 0.798

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{z,Ed}$: 0.88 kN

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$V_{z,w,Rd}$: 15.66 kN

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{\sigma_{tot,Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1$$

h : 0.253 ✓

$$\eta = \frac{\tau_{tot,Ed}}{\tau_{Rd}} \leq 1$$

h : 0.079 ✓

$$\eta = \frac{f_{tot,Ed}}{f_{Rd}} \leq 1$$

h : 0.241 ✓

El coeficiente de aprovechamiento pésimo se produce en el nudo N113, para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1 en el punto de la sección transversal de coordenadas Y = 25.00 mm, Z = -18.50 mm respecto al centro de gravedad.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$V_{y,Ed}$, $V_{z,Ed}$: Esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

Las tensiones normales $\sigma_{tot,Ed}$, calculadas para la sección eficaz, vienen dadas por:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed}$$

Donde:

$S_{N,Ed}$: Tensiones normales debidas al axil.

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_g}$$

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$S_{My,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Y.

$$\sigma_{My,Ed} = -\frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot Z$$

Donde:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

Z: Coordenada, según el eje Z, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$S_{Mz,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Z.

$$\sigma_{Mz,Ed} = -\frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot Y$$

Donde:

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

Y: Coordenada, según el eje Y, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

Las tensiones tangenciales $\tau_{tot,Ed}$, calculadas para la sección bruta, vienen dadas por:

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{Vy,Ed} + \tau_{Vz,Ed} + \tau_{t,Ed}$$

Donde:

$t_{Vy,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{Vy,Ed} = -\frac{\bar{S}_z}{I_z \cdot t} \cdot V_{y,Ed}$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Y.

\bar{S}_z : Momento estático, respecto del eje Z, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

t: Espesor.

$t_{Vz,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$N_{t,Ed} : \underline{3.05} \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} : \underline{-0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{y,Ed} : \underline{-0.67} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} : \underline{0.68} \text{ kN}$$

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$S_{tot,Ed} : \underline{-66.37} \text{ MPa}$$

$$S_{N,Ed} : \underline{9.23} \text{ MPa}$$

$$N_{t,Ed} : \underline{3.05} \text{ kN}$$

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

$$S_{My,Ed} : \underline{-16.54} \text{ MPa}$$

$$M_{y,Ed} : \underline{-0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

$$Z : \underline{-18.50} \text{ mm}$$

$$S_{Mz,Ed} : \underline{-59.06} \text{ MPa}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

$$Y : \underline{25.00} \text{ mm}$$

$$t_{tot,Ed} : \underline{11.95} \text{ MPa}$$

$$t_{Vy,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

$$V_{y,Ed} : \underline{-0.67} \text{ kN}$$

$$\bar{S}_z : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$\tau_{Vz,Ed} = -\frac{\bar{S}_y}{I_y} \cdot V_{z,Ed}$$

$$t_{Vz,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Z.

$$V_{z,Ed} : \underline{0.68} \text{ kN}$$

\bar{S}_y : Momento estático, respecto del eje Y, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_y : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{t,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al momento torsor.

$$\tau_{t,Ed} = \pm \frac{t}{I_t} \cdot M_t$$

$$t_{t,Ed} : \underline{11.95} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{0.10} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Las tensiones totales $f_{tot,Ed}$ vienen dadas por:

$$f_{tot,Ed} = \sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2}$$

$$f_{tot,Ed} : \underline{69.52} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones normales σ_{Rd} viene dada por:

$$\sigma_{Rd} = f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$s_{Rd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones tangenciales τ_{Rd} viene dada por:

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yb} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

$$t_{Rd} : \underline{151.21} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones totales f_{Rd} viene dada por:

$$f_{Rd} = 1.1 \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$f_{Rd} : \underline{288.10} \text{ MPa}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Barra N16/N17

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N16	N17	0.410	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	0.50	0.50	0.00	0.00		
	L _k	0.205	0.205	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)												Estado		
6/N17	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z	M _z V _y	CUMPLE
	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	x: 0.41 m η = 1.4	x: 0 m η = 5.2	x: 0.41 m η = 1.1	x: 0 m η = 9.5	x: 0.205 m η = 0.3	x: 0 m η = 1.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 14.4	η < 0.1	x: 0.205 m η = 1.1	x: 0.205 m η = 0.3	x: 0 m η = 1.2	h = 14.4
Notación: 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 _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 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)															

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

- h_w: Altura del alma. h_w : 34.00 mm
- t_w: Espesor del alma. t_w : 3.00 mm
- A_w: Área del alma. A_w : 2.04 cm²
- A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida. A_{fc,ef} : 1.20 cm²
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. k : 0.30
- E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Procedido por una versión no profesional de WPE

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.014} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{1.51} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.052 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V4.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 5.76 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.16

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: Relación de axiles.

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: 0.001

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 4561.86 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 4561.86 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 4561.86 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones PP+1.5·Q1+0.9·V2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones PP+1.5·V1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.095} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones PP+1.05·Q3+1.5·V2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.205 m del nudo N16, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q5 + 0.9 \cdot V2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.11} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.38} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.04 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.38 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.38} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}} \right]^\beta \leq 1$$

$$h : \underline{0.020} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.108} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.144} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo.

$$N_{c,Ed} : \underline{5.69} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

$$a : \underline{1.665}$$

$$b : \underline{1.665}$$

Siendo:

$$n = N_{c,Ed} / N_{pl,Rd}$$

$N_{pl,Rd}$: 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.

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0.5$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

$$n : \underline{0.052}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \underline{0.43}$$

$$a_f : \underline{0.43}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$b : \underline{4.00} \text{ cm}$$

$$h : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} , K_{zz} : Coeficientes de interacción.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}}$$

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}}$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$$K_{yy} : \underline{0.97}$$

$$K_{yz} : \underline{0.58}$$

$$K_{zy} : \underline{0.58}$$

$$K_{zz} : \underline{0.97}$$

Términos auxiliares:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

$$m_y : \underline{1.00}$$

$$m_z : \underline{1.00}$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yy} : \underline{1.03}$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{yz} : \underline{1.03}$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zy} : \underline{1.03}$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : 1.03

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

a_{LT} : 0.00

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^{-2} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : 0.00

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : 0.00

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : 0.00

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : 0.00

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$

w_y : 1.33

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$

w_z : 1.33

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

n_{pl} : 0.05

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$$

0.00 ≤ 0.20

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$

C_{m,y} : 1.00

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$

C_{m,z} : 1.00

$$C_{m,LT} = 1.00$$

C_{m,LT} : 1.00

C_{m,y,0}, C_{m,z,0}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y,0} : 1.00

C_{m,z,0} : 1.00

C₁ : 1.00

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

c_y, c_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

c_y : 1.00

c_z : 1.00

c_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

c_{LT} : 1.00

$\bar{\lambda}_{\max}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$.

$\bar{\lambda}_{\max}$: 0.16

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$: 0.16

$\bar{\lambda}_z$: 0.16

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.00

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme.

$\bar{\lambda}_0$: 0.00

W_{el,y}, W_{el,z}: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

W_{el,y} : 4.62 cm³

W_{el,z} : 4.62 cm³

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 4561.86 kN

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 4561.86 kN

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 9.25 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 15.71 cm⁴

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q2 + 1.5 \cdot V1$.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.38 \text{ kN} \leq 16.25 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.38} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{32.50} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.205 m del nudo N16, para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot Q1 + 0.9 \cdot V2$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.003 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.205 m del nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.11 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.01 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 30.50 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 30.85 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 1.68 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.012 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.38 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:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 32.50 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.92 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

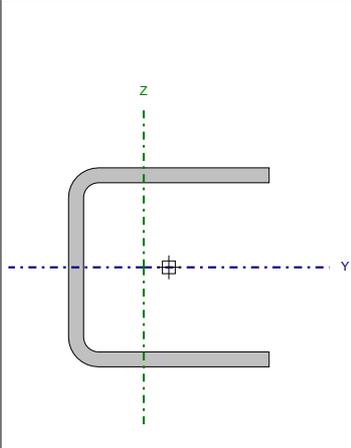
f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Barra N17/N19

Perfil: 40x40x40x3 Material: Acero (S275)									
	Nodos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I ₁ ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)
	N17	N19	0.100	3.30	8.73	5.40	0.10	-5.00	0.00
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad									
		Pandeo			Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.				
β		2.00	2.00	0.00	0.00				
L _k		0.200	0.200	0.000	0.000				
C ₁		-			1.000				
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico									

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012)											Estado	
	b / t	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _t M _z M _z	NM _y M _z V _y V _z		M _t NM _y M _z V _y V _z
7/N19	b / t ≤ (b / t) _{max.} Cumple	x: 0.05 m η = 1.0	x: 0.05 m η = 0.5	x: 0 m η = 16.3	x: 0 m η = 3.3	x: 0 m η = 18.9	x: 0 m η = 0.6	x: 0 m η = 15.6	x: 0 m η = 19.2	x: 0 m η = 16.0	η < 0.1	N.P. ⁽¹⁾	CUMPLE h = 19.2
Notación: b / t: Relación anchura / espesor N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión. Eje Y M _z : Resistencia a flexión. Eje Z M _y M _z : Resistencia a flexión biaxial V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z N _t M _y M _z : Resistencia a tracción y flexión N _t M _z M _z : Resistencia a compresión y flexión NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a cortante, axil y flexión M _t NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede													
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.													

Relación anchura / espesor (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 5.2)

debe satisfacer:

h/t ≤ 500

h / t : 13.3 ✓

b/t ≤ 50

b / t : 13.3 ✓

Donde:

h: Altura del alma.

h : 40.00 mm

b: Ancho de las alas.

b : 40.00 mm

t: Espesor.

t : 3.00 mm

Producido por un profesional de A/E

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.050 m del nudo N17, para la combinación de acciones $PP+1.5 \cdot Q1+1.5 \cdot Q3+0.9 \cdot V2$.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.89} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.050 m del nudo N17, para la combinación de acciones $PP+1.05 \cdot Q2+1.5 \cdot V1$.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.44} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2)

Si se cumple que $\bar{\lambda} \leq 0.20$ 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_{yb}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.18}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.000}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{2797.57} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{4524.46} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión. Eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.163} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{4.37} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.033} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot V2$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.5 \cdot V1$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión biaxial (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.189} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q2+1.5·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.19} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

Donde:

b_d : Ancho de las alas horizontales.

$$b_d : \underline{37.18} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.156} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.44} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{b,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{34.36} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

ϕ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\phi : \underline{90.0} \text{ grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{159.50} \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w : \underline{0.14}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.192} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.176} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.23} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a compresión y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.149} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.160} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.06} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a cortante, axil y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

$$V_{y,Ed} \leq \frac{V_{y,c,Rd}}{2}$$

$$0.012 \leq 1.719$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.12} \text{ kN}$$

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{y,c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} \leq \frac{V_{z,w,Rd}}{2}$$

$$0.249 \leq 0.798$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{z,Ed} : \underline{2.44} \text{ kN}$$

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{z,w,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Barra N116/N17

Perfil: 40x40x40x3 Material: Acero (S275)									
	Nodos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)
	N116	N17	0.400	3.30	8.73	5.40	0.10	-5.00	0.00
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad								
				Pandeo			Pandeo lateral		
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β			0.50	0.50	0.00	0.00		
	L _k			0.200	0.200	0.000	0.000		
	C ₁			-			1.000		
	Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012)												Estado
	b / t	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	N _t M _y V _y V _z	M _y N _t M _z V _y V _z	
16/N17	b / t ≤ (b / t) _{lim} Cumple	x: 0 m η = 5.8	x: 0.2 m η = 2.9	x: 0 m η = 21.7	x: 0 m η = 26.2	x: 0 m η = 47.3	x: 0.4 m η = 1.8	x: 0 m η = 6.6	x: 0 m η = 42.5	x: 0.4 m η = 23.1	η < 0.1	x: 0 m η = 40.2	CUMPLE h = 47.3

Notación:
 b / t: Relación anchura / espesor
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión. Eje Y
 M_z: Resistencia a flexión. Eje Z
 M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial
 V_y: Resistencia a corte Y
 V_z: Resistencia a corte Z
 N_tM_yM_z: Resistencia a tracción y flexión
 N_cM_yM_z: Resistencia a compresión y flexión
 N_tM_yV_yV_z: Resistencia a cortante, axil y flexión
 M_yN_tM_zV_yV_z: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
 x: Distancia al origen de la barra
 η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Relación anchura / espesor (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h/t ≤ 500

h / t : 13.3 ✓

b/t ≤ 50

b / t : 13.3 ✓

Donde:

h: Altura del alma.

h : 40.00 mm

b: Ancho de las alas.

b : 40.00 mm

t: Espesor.

t : 3.00 mm

Producido por una versión no profesional de VPE

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.058} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N116, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.98} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.029} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.200 m del nudo N116, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{2.54} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2)

Si se cumple que $\bar{\lambda} \leq 0.20$ 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_{yb}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.18}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.001}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{2797.57} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{4524.46} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión. Eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.217} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N116, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 0.9 \cdot V2$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{4.37} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.262} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N116, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 0.9 \cdot V1$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N116, para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot V2$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resolución de CYPE
Procedido por una versión no profesional

Resistencia a flexión biaxial (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.473} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N116, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+0.9·V1.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.018} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.61} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

Donde:

b_d : Ancho de las alas horizontales.

$$b_d : \underline{37.18} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

h : 0.066 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N116, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.03 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$V_{b,Rd}$: 15.66 kN

Donde:

h_w : Altura del alma.

h_w : 34.36 mm

t: Espesor.

t : 3.00 mm

f: Ángulo que forma el alma con la horizontal.

f : 90.0 grados

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

f_{bv} : 159.50 MPa

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$\bar{\lambda}_w$: 0.14

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

f_{yb} : 275.00 MPa

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a tracción y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

h : 0.425 ✓

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.415 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N116, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 4.98 kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}$: 0.24 kN·m

$M_{z,Ed}$: 0.15 kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.

$N_{t,Rd}$: 86.47 kN

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd,ten}$: 1.14 kN·m

$M_{cz,Rd,ten}$: 0.94 kN·m

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd,com}$: 1.14 kN·m

$M_{cz,Rd,com}$: 0.57 kN·m

Resistencia a compresión y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.225} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.231} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{2.23} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a cortante, axil y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V3.

$$V_{y,Ed} \leq \frac{V_{y,c,Rd}}{2}$$

$$0.047 \leq 1.719$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.46} \text{ kN}$$

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{y,c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} \leq \frac{V_{z,w,Rd}}{2}$$

$$0.105 \leq 0.798$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{z,Ed} : \underline{1.03} \text{ kN}$$

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{z,w,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{\sigma_{tot,Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.402} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{\tau_{tot,Ed}}{\tau_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.047} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{f_{tot,Ed}}{f_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.367} \quad \checkmark$$

El coeficiente de aprovechamiento pésimo se produce en el nudo N116, para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V1 en el punto de la sección transversal de coordenadas Y = 25.00 mm, Z = -18.50 mm respecto al centro de gravedad.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.80} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{-0.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$V_{y,Ed}$, $V_{z,Ed}$: Esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.43} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} : \underline{-1.01} \text{ kN}$$

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las tensiones normales $\sigma_{tot,Ed}$, calculadas para la sección eficaz, vienen dadas por:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{M_y,Ed} + \sigma_{M_z,Ed}$$

$$S_{tot,Ed} : \underline{-105.16} \text{ MPa}$$

Donde:

$S_{N,Ed}$: Tensiones normales debidas al axil.

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_g}$$

$$S_{N,Ed} : \underline{14.53} \text{ MPa}$$

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.80} \text{ kN}$$

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

$S_{M_y,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Y.

$$\sigma_{M_y,Ed} = -\frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot Z$$

$$S_{M_y,Ed} : \underline{-50.96} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed} : \underline{-0.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

Z: Coordenada, según el eje Z, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Z : \underline{-18.50} \text{ mm}$$

$S_{M_z,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Z.

$$\sigma_{M_z,Ed} = -\frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot Y$$

$$S_{M_z,Ed} : \underline{-68.72} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed} : \underline{0.15} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

Y: Coordenada, según el eje Y, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Y : \underline{25.00} \text{ mm}$$

Las tensiones tangenciales $\tau_{tot,Ed}$, calculadas para la sección bruta, vienen dadas por:

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{V_y,Ed} + \tau_{V_z,Ed} + \tau_{t,Ed}$$

$$t_{tot,Ed} : \underline{-7.06} \text{ MPa}$$

Donde:

$t_{V_y,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{V_y,Ed} = -\frac{\bar{S}_z}{I_z \cdot t} \cdot V_{y,Ed}$$

$$t_{V_y,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Y.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.43} \text{ kN}$$

\bar{S}_z : Momento estático, respecto del eje Z, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_z : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{V_z,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{Vz,Ed} = -\frac{\bar{S}_y}{I_y} \cdot V_{z,Ed}$$

$$t_{Vz,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Z.

$$V_{z,Ed} : \underline{-1.01} \text{ kN}$$

\bar{S}_y : Momento estático, respecto del eje Y, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_y : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{t,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al momento torsor.

$$\tau_{t,Ed} = \pm \frac{t}{I_t} \cdot M_t$$

$$t_{t,Ed} : \underline{-7.06} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{0.10} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Las tensiones totales $f_{tot,Ed}$ vienen dadas por:

$$f_{tot,Ed} = \sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2}$$

$$f_{tot,Ed} : \underline{105.86} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones normales σ_{Rd} viene dada por:

$$\sigma_{Rd} = f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$s_{Rd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones tangenciales τ_{Rd} viene dada por:

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yb} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

$$t_{Rd} : \underline{151.21} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones totales f_{Rd} viene dada por:

$$f_{Rd} = 1.1 \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$f_{Rd} : \underline{288.10} \text{ MPa}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Barra N15/N116

Perfil: 40x40x40x3 Material: Acero (S275)										
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas						
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)	
	N15	N116	0.400	3.30	8.73	5.40	0.10	-5.00	0.00	
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad									
				Pandeo			Pandeo lateral			
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
	β			0.50	0.50	0.00	0.00			
	L _k			0.200	0.200	0.000	0.000			
	C ₁			-			1.000			
	Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico									

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012)												Estado
	b / t	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N,M,M _z	N,M _y M _z	NM _t M _z V _y V _z	M _t NM _t M _z V _y V _z	
5/N116	b / t ≤ (b / t) _{lim} Cumple	x: 0.2 m η = 4.9	x: 0 m η = 4.6	x: 0 m η = 20.9	x: 0.4 m η = 27.8	x: 0 m η = 42.6	x: 0 m η = 2.3	x: 0 m η = 6.0	x: 0.4 m η = 33.0	x: 0 m η = 39.2	η < 0.1	x: 0 m η = 37.6	CUMPLE h = 42.6

Notación:
 b / t: Relación anchura / espesor
 N: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión. Eje Y
 M_z: Resistencia a flexión. Eje Z
 M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial
 V_y: Resistencia a corte Y
 V_z: Resistencia a corte Z
 N,M,M_z: Resistencia a tracción y flexión
 N,M,M_y: Resistencia a compresión y flexión
 N,M,M_tV_y: Resistencia a cortante, axil y flexión
 M_tNM_tM_zV_yV_z: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
 x: Distancia al origen de la barra
 η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Relación anchura / espesor (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h/t ≤ 500

h / t : 13.3 ✓

b/t ≤ 50

b / t : 13.3 ✓

Donde:

h: Altura del alma.

h : 40.00 mm

b: Ancho de las alas.

b : 40.00 mm

t: Espesor.

t : 3.00 mm

Producido por una relación no profesional de V/E

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.049} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.200 m del nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.26} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.046} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{4.00} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2)

Si se cumple que $\bar{\lambda} \leq 0.20$ 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_{yb}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.18}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.001}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{2797.57} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{4524.46} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión. Eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.209} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V2$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V1$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{4.37} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.278} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N116, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N116, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión biaxial (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.426} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V2.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.023} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.78} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

Donde:

b_d : Ancho de las alas horizontales.

$$b_d : \underline{37.18} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.060} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.95} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{b,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{34.36} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

ϕ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\phi : \underline{90.0} \text{ grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{159.50} \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w : \underline{0.14}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.317} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.330} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N116, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.26} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a compresión y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.374} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.392} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{3.00} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a cortante, axil y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V2.

$$V_{y,Ed} \leq \frac{V_{y,c,Rd}}{2}$$

$$0.073 \leq 1.719$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.71} \text{ kN}$$

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{y,c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} \leq \frac{V_{z,w,Rd}}{2}$$

$$0.096 \leq 0.798$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{z,Ed} : \underline{0.95} \text{ kN}$$

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{z,w,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{\sigma_{tot,Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.376} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{\tau_{tot,Ed}}{\tau_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.042} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{f_{tot,Ed}}{f_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.344} \quad \checkmark$$

El coeficiente de aprovechamiento pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V2 en el punto de la sección transversal de coordenadas Y = 25.00 mm, Z = -18.50 mm respecto al centro de gravedad.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{-3.00} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{-0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$V_{y,Ed}$, $V_{z,Ed}$: Esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$V_{y,Ed} : \underline{-0.72} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} : \underline{0.94} \text{ kN}$$

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las tensiones normales $\sigma_{tot,Ed}$, calculadas para la sección eficaz, vienen dadas por:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed}$$

$$S_{tot,Ed} : \underline{98.49} \text{ MPa}$$

Donde:

$S_{N,Ed}$: Tensiones normales debidas al axil.

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_g}$$

$$S_{N,Ed} : \underline{-9.09} \text{ MPa}$$

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{-3.00} \text{ kN}$$

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

$S_{My,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Y.

$$\sigma_{My,Ed} = -\frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot Z$$

$$S_{My,Ed} : \underline{50.63} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

Z: Coordenada, según el eje Z, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Z : \underline{-18.50} \text{ mm}$$

$S_{Mz,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Z.

$$\sigma_{Mz,Ed} = -\frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot Y$$

$$S_{Mz,Ed} : \underline{56.96} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed} : \underline{-0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

Y: Coordenada, según el eje Y, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Y : \underline{25.00} \text{ mm}$$

Las tensiones tangenciales $\tau_{tot,Ed}$, calculadas para la sección bruta, vienen dadas por:

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{Vy,Ed} + \tau_{Vz,Ed} + \tau_{t,Ed}$$

$$t_{tot,Ed} : \underline{6.28} \text{ MPa}$$

Donde:

$t_{Vy,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{Vy,Ed} = -\frac{\bar{S}_z}{I_z \cdot t} \cdot V_{y,Ed}$$

$$t_{Vy,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Y.

$$V_{y,Ed} : \underline{-0.72} \text{ kN}$$

\bar{S}_z : Momento estático, respecto del eje Z, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_z : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{Vz,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{Vz,Ed} = -\frac{\bar{S}_y}{I_y} \cdot V_{z,Ed}$$

$$t_{Vz,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Z.

$$V_{z,Ed} : \underline{0.94} \text{ kN}$$

\bar{S}_y : Momento estático, respecto del eje Y, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_y : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{t,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al momento torsor.

$$\tau_{t,Ed} = \pm \frac{t}{I_t} \cdot M_t$$

$$t_{t,Ed} : \underline{6.28} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{0.10} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Las tensiones totales $f_{tot,Ed}$ vienen dadas por:

$$f_{tot,Ed} = \sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2}$$

$$f_{tot,Ed} : \underline{99.09} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones normales σ_{Rd} viene dada por:

$$\sigma_{Rd} = f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$\sigma_{Rd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones tangenciales τ_{Rd} viene dada por:

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yb} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

$$\tau_{Rd} : \underline{151.21} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones totales f_{Rd} viene dada por:

$$f_{Rd} = 1.1 \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$f_{Rd} : \underline{288.10} \text{ MPa}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Barra N15/N13

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N15	N13	0.440	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: (¹) Inercia respecto al eje indicado (²) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	0.50	0.50	0.00	0.00		
	L _K	0.220	0.220	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)														Estado
	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 V _z	M _y	M _z V _y	M _y V _z	
N15/N13	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	x: 0.22 m η = 2.0	x: 0 m η = 8.5	x: 0.44 m η = 3.2	x: 0 m η = 20.4	x: 0.22 m η = 0.7	x: 0 m η = 2.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 28.2	η < 0.1	x: 0 m η = 0.2	x: 0 m η = 0.1	x: 0 m η = 2.4	CUMPLE h = 28.2

λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_z: Resistencia a corte Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_y: Resistencia a torsión
 M_zV_y: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_yV_z: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

- h_w: Altura del alma. h_w : 34.00 mm
- t_w: Espesor del alma. t_w : 3.00 mm
- A_w: Área del alma. A_w : 2.04 cm²
- A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida. A_{fc,ef} : 1.20 cm²
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. k : 0.30
- E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Producido por un profesional de CYPE

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.020} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.220 m del nudo N15, para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{2.23} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.085 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 9.37 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.17

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.002

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 3960.99 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 3960.99 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 3960.99 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.032} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+0.9·V1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones PP+1.5·V2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.204} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.220 m del nudo N15, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q5 + 0.9 \cdot V1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.23} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.024 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.78 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 32.70 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 2.16 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

A : 4.20 cm²

d: Altura del alma.

d : 34.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 3.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

13.33 < 55.46 ✓

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

I_w : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

I_{\max} : 55.46

$$\lambda_{\max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

h : 1.20

e: Factor de reducción.

e : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.04 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.78 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.78} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}} \right]^\beta \leq 1$$

$$h : \underline{0.070} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.205} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.282} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo.

$$N_{c,Ed} : \underline{9.37} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

$$a : \underline{1.674}$$

$$b : \underline{1.674}$$

Siendo:

$$n = N_{c,Ed} / N_{pl,Rd}$$

$N_{pl,Rd}$: 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.

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0.5$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

$$n : \underline{0.085}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \underline{0.43}$$

$$a_f : \underline{0.43}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$b : \underline{4.00} \text{ cm}$$

$$h : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} , K_{zz} : Coeficientes de interacción.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}}$$

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}}$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$$K_{yy} : \underline{0.95}$$

$$K_{yz} : \underline{0.57}$$

$$K_{zy} : \underline{0.57}$$

$$K_{zz} : \underline{0.95}$$

Términos auxiliares:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

$$m_y : \underline{1.00}$$

$$m_z : \underline{1.00}$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yy} : \underline{1.05}$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{yz} : \underline{1.05}$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zy} : \underline{1.05}$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : 1.05

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

a_{LT} : 0.00

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^{-2} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : 0.00

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : 0.00

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : 0.00

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : 0.00

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$

w_y : 1.33

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$

w_z : 1.33

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

n_{pl} : 0.09

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$$

0.00 ≤ 0.20

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$

C_{m,y} : 1.00

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$

C_{m,z} : 1.00

$$C_{m,LT} = 1.00$$

C_{m,LT} : 1.00

C_{m,y,0}, C_{m,z,0}: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y,0} : 1.00

C_{m,z,0} : 1.00

C₁ : 1.00

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

c_y, c_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

c_y : 1.00

c_z : 1.00

c_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

c_{LT} : 1.00

$\bar{\lambda}_{\max}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$.

$\bar{\lambda}_{\max}$: 0.17

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$: 0.17

$\bar{\lambda}_z$: 0.17

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.00

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme.

$\bar{\lambda}_0$: 0.00

W_{el,y}, W_{el,z}: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

W_{el,y} : 4.62 cm³

W_{el,z} : 4.62 cm³

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 3960.99 kN

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 3960.99 kN

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 9.25 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 15.71 cm⁴

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.78 \text{ kN} \leq 16.33 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.78} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{32.66} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N15, para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot Q1$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.001 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.03 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 30.81 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 30.85 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.19 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.024 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N15, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.78 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 32.66 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.19 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Barra N13/N14

Perfil: 40x40x40x3 Material: Acero (S275)										
	Nodos		Longitud (m)	Características mecánicas						
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)	
	N13	N14	0.120	3.30	8.73	5.40	0.10	-5.00	0.00	
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad									
				Pandeo			Pandeo lateral			
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.		
				β	2.00	2.00	0.00		0.00	
				L _k	0.240	0.240	0.000		0.000	
				C ₁	-			1.000		
	Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico									

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012)													Estado
	b / t	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _t NM _y M _z V _y V _z		
3/N14	b / t ≤ (b / t) _{max.} Cumple	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 0.5	x: 0 m η = 11.6	x: 0 m η = 2.0	x: 0 m η = 13.2	x: 0 m η = 0.5	x: 0 m η = 8.3	x: 0 m η = 10.4	x: 0 m η = 12.9	η < 0.1	N.P. ⁽¹⁾	CUMPLE h = 13.2	
Notación: b / t: Relación anchura / espesor N: Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión. Eje Y M _z : Resistencia a flexión. Eje Z M _y M _z : Resistencia a flexión biaxial V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z N _t M _y M _z : Resistencia a tracción y flexión N _c M _y M _z : Resistencia a compresión y flexión NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a cortante, axil y flexión M _t NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede														
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.														

Relación anchura / espesor (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h/t ≤ 500

h / t : 13.3 ✓

b/t ≤ 50

b / t : 13.3 ✓

Donde:

h: Altura del alma.

h : 40.00 mm

b: Ancho de las alas.

b : 40.00 mm

t: Espesor.

t : 3.00 mm

Producido por el sistema de inversión no profesional de YPE

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.38} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.47} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2)

Si se cumple que $\bar{\lambda} \leq 0.20$ 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_{yb}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.22}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.000}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1942.76} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{3141.99} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión. Eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.116} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{4.37} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.020} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot V2$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.5 \cdot V1$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión biaxial (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.132} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.5·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.17} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

Donde:

b_d : Ancho de las alas horizontales.

$$b_d : \underline{37.18} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.083} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.30} \quad \text{kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{b,Rd} : \underline{15.66} \quad \text{kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{34.36} \quad \text{mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \quad \text{mm}$$

ϕ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\phi : \underline{90.0} \quad \text{grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{159.50} \quad \text{MPa}$$

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w : \underline{0.14}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \quad \text{MPa}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \quad \text{MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.104} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.101} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V4.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.01} \quad \text{kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.11} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.00} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \quad \text{kN}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a compresión y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.129} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.128} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.31} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a cortante, axil y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$$V_{y,Ed} \leq \frac{V_{y,c,Rd}}{2}$$

$$0.014 \leq 1.719$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.14} \text{ kN}$$

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{y,c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} \leq \frac{V_{z,w,Rd}}{2}$$

$$0.133 \leq 0.798$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{z,Ed} : \underline{1.30} \text{ kN}$$

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{z,w,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Barra N111/N13

Perfil: 40x40x40x3 Material: Acero (S275)									
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)
	N111	N13	0.350	3.30	8.73	5.40	0.10	-5.00	0.00
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad								
				Pandeo			Pandeo lateral		
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β			0.50	0.50	0.00	0.00		
	L _k			0.175	0.175	0.000	0.000		
	C ₁			-			1.000		
	Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012)												Estado
	b / t	N _t	N _c	M _y	M _z	M _x ,M _z	V _y	V _z	N,M _x ,M _z	N,M _y ,M _z	NM,M _x ,V _y ,V _z	M,NM,M _x ,V _y ,V _z	
N111/N13	b / t ≤ (b / t) _{max} Cumple	x: 0 m η = 8.5	x: 0.175 m η = 7.2	x: 0 m η = 16.6	x: 0.35 m η = 44.9	x: 0.35 m η = 57.4	x: 0.35 m η = 4.7	x: 0 m η = 6.2	x: 0 m η = 51.3	x: 0.35 m η = 50.8	η < 0.1	x: 0 m η = 50.0	CUMPLE h = 57.4

Notación:
 b / t: Relación anchura / espesor
 N: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión. Eje Y
 M_z: Resistencia a flexión. Eje Z
 M_x, M_z: Resistencia a flexión biaxial
 V_y: Resistencia a corte Y
 V_z: Resistencia a corte Z
 N,M,M_x: Resistencia a tracción y flexión
 N,M,M_z: Resistencia a compresión y flexión
 NM,M_x,V_y: Resistencia a cortante, axil y flexión
 M,NM,M_x,V_y,V_z: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Relación anchura / espesor (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h/t ≤ 500

h / t : 13.3 ✓

b/t ≤ 50

b / t : 13.3 ✓

Donde:

h: Altura del alma.

h : 40.00 mm

b: Ancho de las alas.

b : 40.00 mm

t: Espesor.

t : 3.00 mm

Producido por una versión no profesional de CAPA

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.085} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N111, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{7.37} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.072} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.175 m del nudo N111, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{6.20} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2)

Si se cumple que $\bar{\lambda} \leq 0.20$ 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_{yb}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.16}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.002}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{3653.97} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{5909.50} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión. Eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.166} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N111, para la combinación de acciones $1.35\cdot PP + 1.5\cdot Q1 + 0.9\cdot V1$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{4.37} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.449} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones $PP + 1.05\cdot Q3 + 1.5\cdot V2$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones $1.35\cdot PP + 1.5\cdot Q1 + 1.5\cdot Q2 + 0.9\cdot V1$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resolución de una viga en no pro

Resistencia a flexión biaxial (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.574} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.047} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.60} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

Donde:

b_d : Ancho de las alas horizontales.

$$b_d : \underline{37.18} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.062} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N111, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.97} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{b,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{34.36} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

ϕ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\phi : \underline{90.0} \text{ grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{159.50} \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w : \underline{0.14}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.450} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.513} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N111, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.10} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a compresión y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.461} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.508} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{5.71} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a cortante, axil y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$$V_{y,Ed} \leq \frac{V_{y,c,Rd}}{2}$$

$$0.136 \leq 1.719$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{y,Ed} : \underline{1.33} \text{ kN}$$

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{y,c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} \leq \frac{V_{z,w,Rd}}{2}$$

$$0.099 \leq 0.798$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{z,Ed} : \underline{0.97} \text{ kN}$$

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{z,w,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{\sigma_{tot,Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.500} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{\tau_{tot,Ed}}{\tau_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.056} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{f_{tot,Ed}}{f_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.458} \quad \checkmark$$

El coeficiente de aprovechamiento pésimo se produce en el nudo N111, para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1 en el punto de la sección transversal de coordenadas Y = 25.00 mm, Z = -18.50 mm respecto al centro de gravedad.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.10} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{-0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$V_{y,Ed}$, $V_{z,Ed}$: Esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$V_{y,Ed} : \underline{1.33} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} : \underline{-0.97} \text{ kN}$$

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las tensiones normales $\sigma_{tot,Ed}$, calculadas para la sección eficaz, vienen dadas por:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{M_y,Ed} + \sigma_{M_z,Ed}$$

$$S_{tot,Ed} : \underline{-131.05} \text{ MPa}$$

Donde:

$S_{N,Ed}$: Tensiones normales debidas al axil.

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_g}$$

$$S_{N,Ed} : \underline{12.43} \text{ MPa}$$

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.10} \text{ kN}$$

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

$S_{M_y,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Y.

$$\sigma_{M_y,Ed} = -\frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot Z$$

$$S_{M_y,Ed} : \underline{-40.10} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed} : \underline{-0.19} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

Z: Coordenada, según el eje Z, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Z : \underline{-18.50} \text{ mm}$$

$S_{M_z,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Z.

$$\sigma_{M_z,Ed} = -\frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot Y$$

$$S_{M_z,Ed} : \underline{-103.38} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed} : \underline{0.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

Y: Coordenada, según el eje Y, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Y : \underline{25.00} \text{ mm}$$

Las tensiones tangenciales $\tau_{tot,Ed}$, calculadas para la sección bruta, vienen dadas por:

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{V_y,Ed} + \tau_{V_z,Ed} + \tau_{t,Ed}$$

$$t_{tot,Ed} : \underline{-8.44} \text{ MPa}$$

Donde:

$t_{V_y,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{V_y,Ed} = -\frac{\bar{S}_z}{I_z \cdot t} \cdot V_{y,Ed}$$

$$t_{V_y,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Y.

$$V_{y,Ed} : \underline{1.33} \text{ kN}$$

\bar{S}_z : Momento estático, respecto del eje Z, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_z : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{V_z,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{Vz,Ed} = -\frac{\bar{S}_y}{I_y} \cdot V_{z,Ed}$$

$$t_{Vz,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Z.

$$V_{z,Ed} : \underline{-0.97} \text{ kN}$$

\bar{S}_y : Momento estático, respecto del eje Y, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_y : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{t,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al momento torsor.

$$\tau_{t,Ed} = \pm \frac{t}{I_t} \cdot M_t$$

$$t_{t,Ed} : \underline{-8.44} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{0.10} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Las tensiones totales $f_{tot,Ed}$ vienen dadas por:

$$f_{tot,Ed} = \sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2}$$

$$f_{tot,Ed} : \underline{131.86} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones normales σ_{Rd} viene dada por:

$$\sigma_{Rd} = f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$s_{Rd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones tangenciales τ_{Rd} viene dada por:

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yb} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

$$t_{Rd} : \underline{151.21} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones totales f_{Rd} viene dada por:

$$f_{Rd} = 1.1 \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$f_{Rd} : \underline{288.10} \text{ MPa}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Barra N11/N111

Perfil: 40x40x40x3 Material: Acero (S275)									
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)
	N11	N111	0.450	3.30	8.73	5.40	0.10	-5.00	0.00
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad								
				Pandeo			Pandeo lateral		
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β			0.50	0.50	0.00	0.00		
	L _k			0.225	0.225	0.000	0.000		
	C ₁			-			1.000		
	Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012)											Estado	
	b / t	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	NM _y M _z V _y V _z		M _t NM _y M _z V _y V _z
1/N111	b / t ≤ (b / t) _{max} Cumple	x: 0 m η = 12.4	x: 0 m η = 1.4	x: 0 m η = 9.8	x: 0 m η = 39.5	x: 0 m η = 48.8	x: 0 m η = 0.8	x: 0.225 m η = 2.9	x: 0 m η = 45.4	x: 0 m η = 10.7	η < 0.1	x: 0 m η = 40.5	CUMPLE h = 48.8

Notación:
b / t: Relación anchura / espesor
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_y: Resistencia a flexión. Eje Y
M_z: Resistencia a flexión. Eje Z
M_yM_z: Resistencia a flexión biaxial
V_y: Resistencia a corte Y
V_z: Resistencia a corte Z
N_tM_yM_z: Resistencia a tracción y flexión
N_cM_yM_z: Resistencia a compresión y flexión
NM_yM_zV_yV_z: Resistencia a cortante, axil y flexión
M_tNM_yM_zV_yV_z: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
x: Distancia al origen de la barra
h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Relación anchura / espesor (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h/t ≤ 500

h / t : 13.3 ✓

b/t ≤ 50

b / t : 13.3 ✓

Donde:

h: Altura del alma.

h : 40.00 mm

b: Ancho de las alas.

b : 40.00 mm

t: Espesor.

t : 3.00 mm

Producido por una versión no profesional de VPE

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.124} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V1$.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{10.76} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.014} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q5 + 1.5 \cdot V2$.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.20} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2)

Si se cumple que $\bar{\lambda} \leq 0.20$ 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_{yb}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.20}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.001}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{2210.43} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{3574.88} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión. Eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.098} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q5 + 0.9 \cdot V1$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q4 + 1.5 \cdot V2$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{4.37} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.395} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V1$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q5 + 1.5 \cdot V2$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión biaxial (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.488} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.27} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

Donde:

b_d : Ancho de las alas horizontales.

$$b_d : \underline{37.18} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.029} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.225 m del nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.46} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{b,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{34.36} \text{ mm}$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f: Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$f : \underline{90.0} \text{ grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{159.50} \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

Siendo:

λ_w : Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\lambda_w : \underline{0.14}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.454} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.363} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{10.76} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a compresión y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

h : 0.084 ✓

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.107 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones PP+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 1.00 kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}$: 0.00 kN·m

$M_{z,Ed}$: 0.07 kN·m

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión.

$N_{c,Rd}$: 86.47 kN

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd,com}$: 1.14 kN·m

$M_{cz,Rd,com}$: 0.94 kN·m

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{cy,Rd,ten}$: 1.14 kN·m

$M_{cz,Rd,ten}$: 0.57 kN·m

Resistencia a cortante, axil y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

$$V_{y,Ed} \leq \frac{V_{y,c,Rd}}{2}$$

0.003 ≤ 1.719

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{y,Ed}$: 0.03 kN

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$V_{y,c,Rd}$: 33.73 kN

$$V_{z,Ed} \leq \frac{V_{z,w,Rd}}{2}$$

0.046 ≤ 0.798

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{z,Ed}$: 0.45 kN

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$V_{z,w,Rd}$: 15.66 kN

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{\sigma_{tot,Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1$$

h : 0.405 ✓

$$\eta = \frac{\tau_{tot,Ed}}{\tau_{Rd}} \leq 1$$

h : 0.065 ✓

$$\eta = \frac{f_{tot,Ed}}{f_{Rd}} \leq 1$$

h : 0.373 ✓

El coeficiente de aprovechamiento pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1 en el punto de la sección transversal de coordenadas Y = -13.16 mm, Z = -15.72 mm respecto al centro de gravedad.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{10.76} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$V_{y,Ed}$, $V_{z,Ed}$: Esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.06} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} : \underline{0.43} \text{ kN}$$

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las tensiones normales $\sigma_{tot,Ed}$, calculadas para la sección eficaz, vienen dadas por:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed}$$

$$S_{tot,Ed} : \underline{106.12} \text{ MPa}$$

Donde:

$S_{N,Ed}$: Tensiones normales debidas al axil.

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_g}$$

$$S_{N,Ed} : \underline{32.59} \text{ MPa}$$

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{10.76} \text{ kN}$$

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

$S_{My,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Y.

$$\sigma_{My,Ed} = -\frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot Z$$

$$S_{My,Ed} : \underline{19.11} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.11} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

Z: Coordenada, según el eje Z, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Z : \underline{-15.72} \text{ mm}$$

$S_{Mz,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Z.

$$\sigma_{Mz,Ed} = -\frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot Y$$

$$S_{Mz,Ed} : \underline{54.42} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed} : \underline{0.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

Y: Coordenada, según el eje Y, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$$Y : \underline{-13.16} \text{ mm}$$

Las tensiones tangenciales $\tau_{tot,Ed}$, calculadas para la sección bruta, vienen dadas por:

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{Vy,Ed} + \tau_{Vz,Ed} + \tau_{t,Ed}$$

$$t_{tot,Ed} : \underline{-9.86} \text{ MPa}$$

Donde:

$t_{Vy,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{Vy,Ed} = -\frac{\bar{S}_z}{I_z \cdot t} \cdot V_{y,Ed}$$

$$t_{Vy,Ed} : \underline{0.24} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Y.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.06} \text{ kN}$$

\bar{S}_z : Momento estático, respecto del eje Z, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_z : \underline{-0.64} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{Vz,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{Vz,Ed} = -\frac{\bar{S}_y}{I_y} \cdot V_{z,Ed}$$

$$t_{Vz,Ed} : \underline{-3.57} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Z.

$$V_{z,Ed} : \underline{0.43} \text{ kN}$$

\bar{S}_y : Momento estático, respecto del eje Y, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_y : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{t,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al momento torsor.

$$\tau_{t,Ed} = \pm \frac{t}{I_t} \cdot M_t$$

$$t_{t,Ed} : \underline{-6.53} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{0.10} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Las tensiones totales $f_{tot,Ed}$ vienen dadas por:

$$f_{tot,Ed} = \sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2}$$

$$f_{tot,Ed} : \underline{107.49} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones normales σ_{Rd} viene dada por:

$$\sigma_{Rd} = f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$\sigma_{Rd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones tangenciales τ_{Rd} viene dada por:

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yb} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

$$t_{Rd} : \underline{151.21} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones totales f_{Rd} viene dada por:

$$f_{Rd} = 1.1 \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$f_{Rd} : \underline{288.10} \text{ MPa}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Barra N11/N9

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N11	N9	0.360	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	0.50	0.50	0.00	0.00		
	L _k	0.180	0.180	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)														Estado
	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 _y V _z	M _z V _y	
1/N9	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	x: 0.18 m η = 0.9	x: 0 m η = 1.6	x: 0 m η = 1.0	x: 0 m η = 5.9	x: 0 m η = 0.4	x: 0.18 m η = 1.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 6.7	η < 0.1	x: 0.18 m η = 1.2	x: 0 m η = 0.4	x: 0.18 m η = 1.1	CUMPLE h = 6.7

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N: Resistencia a tracción
 N: Resistencia a compresión
 M: Resistencia a flexión eje Y
 M: Resistencia a flexión eje Z
 V: Resistencia a corte Y
 V: Resistencia a corte Z
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_yM_zV_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M: Resistencia a torsión
 M_t: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_yV_z: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

- h_w: Altura del alma. h_w : 34.00 mm
- t_w: Espesor del alma. t_w : 3.00 mm
- A_w: Área del alma. A_w : 2.04 cm²
- A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida. A_{fc,ef} : 1.20 cm²
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. k : 0.30
- E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Producido por el sistema de gestión de calidad de GYPE

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N11, para la combinación de acciones $PP+1.05 \cdot Q4+1.5 \cdot V1$.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.99} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.016 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·V2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 1.81 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.000

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 5917.04 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 5917.04 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 5917.04 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q4+1.5·V1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·V2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.059} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V1$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q5 + 1.5 \cdot V2$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q4+1.5·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.11 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 30.85 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 2.04 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

d : 34.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 3.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

11.33 < 55.46 ✓

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

l_w : 11.33

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$l_{m\acute{a}x}$: 55.46

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

h : 1.20

e: Factor de reducción.

e : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.36} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.11 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q4+1.5·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.11} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.15 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.15} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}} \right]^\beta \leq 1$$

$$h : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.067} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.067} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V1.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.25} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

Siendo:

$$n = N_{t,Ed} / N_{pl,Rd}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0.5$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

$$a : \underline{1.660}$$

$$b : \underline{1.660}$$

$$n : \underline{0.002}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \underline{0.43}$$

$$a_f : \underline{0.43}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$b : \underline{4.00} \text{ cm}$$

$$h : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} , K_{zz} : Coeficientes de interacción.

c_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$$K_{yy} : \underline{1.00}$$

$$K_{yz} : \underline{1.00}$$

$$K_{zy} : \underline{1.00}$$

$$K_{zz} : \underline{1.00}$$

$$c_{LT} : \underline{1.00}$$

Procedido por una versión no profesional de CYPE

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V1.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.15 \text{ kN} \leq 16.22 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.15} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,y} : \underline{32.43} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.012} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.5·V1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.11} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{30.58} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{1.29} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.011 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.180 m del nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.36 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:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 32.33 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 1.73 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Barra N9/N10

Perfil: 40x40x40x3 Material: Acero (S275)									
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)
	N9	N10	0.120	3.30	8.73	5.40	0.10	-5.00	0.00
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad								
				Pandeo			Pandeo lateral		
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β			2.00	2.00	0.00	0.00		
	L _k			0.240	0.240	0.000	0.000		
	C ₁			-			1.000		
	Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012)													Estado
	b / t	N _t	N _c	M _y	M _z	M _y M _z	V _y	V _z	N _t M _y M _z	N _c M _y M _z	NM _y M _z V _y V _z	M _y NM _y M _z V _y V _z		
N9/N10	b / t ≤ (b / t) _{Máx.} Cumple	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 0.6	x: 0 m η = 8.9	x: 0 m η = 3.9	x: 0 m η = 12.8	x: 0 m η = 0.7	x: 0 m η = 6.4	x: 0 m η = 8.2	x: 0 m η = 12.3	η < 0.1	N.P. ⁽¹⁾	CUMPLE h = 12.8	
Notación: b / t: Relación anchura / espesor N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión. Eje Y M _z : Resistencia a flexión. Eje Z M _y M _z : Resistencia a flexión biaxial V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z N _t M _y : Resistencia a tracción y flexión N _c M _y : Resistencia a compresión y flexión NM _y M _z : Resistencia a cortante, axil y flexión M _y NM _y M _z V _y V _z : Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede														
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.														

Relación anchura / espesor (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h/t ≤ 500

h / t : 13.3 ✓

b/t ≤ 50

b / t : 13.3 ✓

Donde:

h: Altura del alma.

h : 40.00 mm

b: Ancho de las alas.

b : 40.00 mm

t: Espesor.

t : 3.00 mm

Producido por un profesional de VITE

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones PP+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.34} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.3)

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.53} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2)

Si se cumple que $\bar{\lambda} \leq 0.20$ 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_{yb}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.22}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.000}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1942.76} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{3141.99} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión. Eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.089} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q5 + 0.9 \cdot V1$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q4 + 1.5 \cdot V2$.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{4.37} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.039} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot V2$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.5 \cdot V1$.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión biaxial (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.128} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.23} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

Donde:

b_d : Ancho de las alas horizontales.

$$b_d : \underline{37.18} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.064} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.01} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{b,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{34.36} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

ϕ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\phi : \underline{90.0} \text{ grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{159.50} \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w : \underline{0.14}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.082} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.075} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a compresión y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.117} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.123} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.40} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a cortante, axil y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

$$V_{y,Ed} \leq \frac{V_{y,c,Rd}}{2}$$

$$0.023 \leq 1.719$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.23} \text{ kN}$$

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{y,c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} \leq \frac{V_{z,w,Rd}}{2}$$

$$0.103 \leq 0.798$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{z,Ed} : \underline{1.01} \text{ kN}$$

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{z,w,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Barra N8/N9

Perfil: 40x40x40x3 Material: Acero (S275)									
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)
	N8	N9	0.280	3.30	8.73	5.40	0.10	-5.00	0.00
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad								
				Pandeo			Pandeo lateral		
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β			0.50	0.50	0.00	0.00		
	L _k			0.140	0.140	0.000	0.000		
	C ₁			-			1.000		
	Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012)												Estado
	b / t	N _t	N _c	M _y	M _z	M _t	V _y	V _z	N,M,M _t	N,M,M _t	NM,M,V,V _t	M,NM,M,V,V _t	
N8/N9	b / t ≤ (b / t) _{max} Cumple	x: 0 m η = 1.7	x: 0.14 m η = 1.4	x: 0.28 m η = 7.6	x: 0.28 m η = 8.3	x: 0.28 m η = 15.9	x: 0.28 m η = 0.7	x: 0.28 m η = 2.4	x: 0.28 m η = 7.4	x: 0.28 m η = 14.7	η < 0.1	x: 0.14 m η = 8.1	CUMPLE h = 15.9

Notación:
 b / t: Relación anchura / espesor
 N: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión. Eje Y
 M_z: Resistencia a flexión. Eje Z
 M_t: Resistencia a flexión biaxial
 V_y: Resistencia a corte Y
 V_z: Resistencia a corte Z
 N,M,M_t: Resistencia a tracción y flexión
 N,M,M_c: Resistencia a compresión y flexión
 NM,M,V,V_t: Resistencia a cortante, axil y flexión
 M,NM,M,V,V_t: Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Relación anchura / espesor (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

h/t ≤ 500

h / t : 13.3 ✓

b/t ≤ 50

b / t : 13.3 ✓

Donde:

h: Altura del alma.

h : 40.00 mm

b: Ancho de las alas.

b : 40.00 mm

t: Espesor.

t : 3.00 mm

Producido por una versión no profesional de CAD

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.017} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{1.51} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.014} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.140 m del nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.22} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_g \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2)

Si se cumple que $\bar{\lambda} \leq 0.20$ 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.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_g \cdot f_{yb}}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.13}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.000}$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{5709.33} \text{ kN}$$

$N_{cr,FT}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexotorsión.

$$N_{cr,FT} : \underline{9233.59} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión. Eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.076} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+0.9·V1.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones PP+1.5·V2.

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{y,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{4.37} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral del ala superior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a pandeo lateral del ala inferior: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.2.4)

La comprobación a pandeo lateral no procede, ya que la longitud de pandeo lateral es nula.

Resistencia a flexión. Eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.083} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V2.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V1.

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión $M_{c,Rd}$ viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_{el} : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión.

$$W_{el} : \underline{2.16} \text{ cm}^3$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión biaxial (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.159} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V1.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$M_{cy,Rd}$, $M_{cz,Rd}$: Resistencia de cálculo a flexión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.23} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot b_d \cdot t \cdot \frac{f_{yb}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

Donde:

b_d : Ancho de las alas horizontales.

$$b_d : \underline{37.18} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.024} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.38} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{b,Rd}$ viene dado por:

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{b,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{34.36} \text{ mm}$$

t : Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

ϕ : Ángulo que forma el alma con la horizontal.

$$\phi : \underline{90.0} \text{ grados}$$

f_{bv} : Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

$$f_{bv} : \underline{159.50} \text{ MPa}$$

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

Siendo:

$\bar{\lambda}_w$: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w : \underline{0.14}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a tracción y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.8 y 6.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.074} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} - \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.053} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.29} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a compresión y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículos 6.1.9 y 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,com}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,com}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.137} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{cy,Rd,ten}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cz,Rd,ten}} - \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.147} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.03} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Las resistencias de cálculo vienen dadas por:

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{86.47} \text{ kN}$$

$M_{cy,Rd,com}$, $M_{cz,Rd,com}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de compresión, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,com} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,com} : \underline{0.94} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{cy,Rd,ten}$, $M_{cz,Rd,ten}$: Resistencia de cálculo a flexión para la máxima tensión de tracción, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{cy,Rd,ten} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{cz,Rd,ten} : \underline{0.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a cortante, axil y flexión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y axil, ya que los esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo $V_{y,Ed}$ y $V_{z,Ed}$ son menores o iguales que el 50% de los correspondientes esfuerzos cortantes resistentes de cálculo $V_{y,c,Rd}$ y $V_{z,w,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

$$V_{y,Ed} \leq \frac{V_{y,c,Rd}}{2}$$

$$0.014 \leq 1.719$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{y,Ed} : \underline{0.14} \text{ kN}$$

$V_{y,c,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{y,c,Rd} : \underline{33.73} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} \leq \frac{V_{z,w,Rd}}{2}$$

$$0.026 \leq 0.798$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{z,Ed} : \underline{0.26} \text{ kN}$$

$V_{z,w,Rd}$: Resistencia de cálculo a cortante.

$$V_{z,w,Rd} : \underline{15.66} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-3: 2012, Artículo 6.1.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{\sigma_{tot,Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.063} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{\tau_{tot,Ed}}{\tau_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.062} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{f_{tot,Ed}}{f_{Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.081} \quad \checkmark$$

El coeficiente de aprovechamiento pésimo se produce en un punto situado a una distancia 0.140 m del nudo N8 para la combinación de hipótesis 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V1 y en el punto de la sección transversal de coordenadas Y = 25.00 mm, Z = -18.50 mm respecto al centro de gravedad.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$V_{y,Ed}$, $V_{z,Ed}$: Esfuerzos cortantes solicitantes de cálculo pésimo, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

Las tensiones normales $\sigma_{tot,Ed}$, calculadas para la sección eficaz, vienen dadas por:

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed}$$

Donde:

$S_{N,Ed}$: Tensiones normales debidas al axil.

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_g}$$

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

A_g : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$S_{My,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Y.

$$\sigma_{My,Ed} = -\frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot Z$$

Donde:

$M_{y,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

Z: Coordenada, según el eje Z, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$S_{Mz,Ed}$: Tensión normal debida al momento flector alrededor del eje Z.

$$\sigma_{Mz,Ed} = -\frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot Y$$

Donde:

$M_{z,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

Y: Coordenada, según el eje Y, del punto pésimo de la sección transversal respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

Las tensiones tangenciales $\tau_{tot,Ed}$, calculadas para la sección bruta, vienen dadas por:

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{Vy,Ed} + \tau_{Vz,Ed} + \tau_{t,Ed}$$

Donde:

$t_{Vy,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$\tau_{Vy,Ed} = -\frac{\bar{S}_z}{I_z \cdot t} \cdot V_{y,Ed}$$

Donde:

$V_{y,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Y.

\bar{S}_z : Momento estático, respecto del eje Z, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

t: Espesor.

$t_{Vz,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al esfuerzo cortante.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.26} \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{-0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{y,Ed} : \underline{0.16} \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} : \underline{-0.25} \text{ kN}$$

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$S_{tot,Ed} : \underline{16.61} \text{ MPa}$$

$$S_{N,Ed} : \underline{0.78} \text{ MPa}$$

$$N_{t,Ed} : \underline{0.26} \text{ kN}$$

$$A_g : \underline{3.30} \text{ cm}^2$$

$$S_{My,Ed} : \underline{7.53} \text{ MPa}$$

$$M_{y,Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

$$Z : \underline{-18.50} \text{ mm}$$

$$S_{Mz,Ed} : \underline{8.30} \text{ MPa}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{-0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

$$Y : \underline{25.00} \text{ mm}$$

$$t_{tot,Ed} : \underline{-9.35} \text{ MPa}$$

$$t_{Vy,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

$$V_{y,Ed} : \underline{0.16} \text{ kN}$$

$$\bar{S}_z : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

$$I_z : \underline{5.40} \text{ cm}^4$$

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$\tau_{Vz,Ed} = -\frac{\bar{S}_y}{I_y} \cdot V_{z,Ed}$$

$$t_{Vz,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

Donde:

$V_{z,Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo, según el eje Z.

$$V_{z,Ed} : \underline{-0.25} \text{ kN}$$

\bar{S}_y : Momento estático, respecto del eje Y, de la parte de la sección situada a un lado del punto de comprobación.

$$\bar{S}_y : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{8.73} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$t_{t,Ed}$: Tensiones tangenciales debidas al momento torsor.

$$\tau_{t,Ed} = \pm \frac{t}{I_t} \cdot M_t$$

$$t_{t,Ed} : \underline{-9.35} \text{ MPa}$$

Donde:

$M_{t,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{t,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{0.10} \text{ cm}^4$$

t: Espesor.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Las tensiones totales $f_{tot,Ed}$ vienen dadas por:

$$f_{tot,Ed} = \sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{tot,Ed}^2}$$

$$f_{tot,Ed} : \underline{23.20} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones normales σ_{Rd} viene dada por:

$$\sigma_{Rd} = f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$\sigma_{Rd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones tangenciales τ_{Rd} viene dada por:

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yb} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

$$\tau_{Rd} : \underline{151.21} \text{ MPa}$$

La resistencia de cálculo a tensiones totales f_{Rd} viene dada por:

$$f_{Rd} = 1.1 \cdot f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$f_{Rd} : \underline{288.10} \text{ MPa}$$

Donde:

f_{yb} : Límite elástico del material base.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Barra N7/N8

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N7	N8	0.112	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β		0.50	0.50	0.00	0.00	
	L _k		0.056	0.056	0.000	0.000	
	C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
	C ₁		-		1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)													Estado	
	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _t V _z	M _z V _y	NM _t M _z	NM _t M _z V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
N7/N8	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	x: 0.112 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 1.2	x: 0 m η = 7.5	x: 0.112 m η = 0.7	x: 0 m η = 3.4	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 8.3	x: 0 m η < 0.1	η = 0.3	x: 0.112 m η = 0.7	x: 0 m η = 3.4	CUMPLE h = 8.3

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

Donde:

- h_w: Altura del alma.
- t_w: Espesor del alma.
- A_w: Área del alma.
- A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
- E: Módulo de elasticidad.
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

11.33 ≤ 298.70 ✓

- h_w : 34.00 mm
- t_w : 3.00 mm
- A_w : 2.04 cm²
- A_{fc,ef} : 1.20 cm²
- k : 0.30
- E : 210000 MPa
- f_{yf} : 275.00 MPa

Producido por el sistema de gestión de calidad de SYP

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones PP+1.05·Q3+1.5·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.004 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V4.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 0.42 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.04

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.000

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 60977.05 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 60977.05 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 60977.05 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.012} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones PP+1.5·V1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones PP+1.5·Q1+0.9·V2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.075} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.20} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{11.33}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{\max} : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\max} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.034 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.13 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 32.70 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 2.16 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

A : 4.20 cm²

d: Altura del alma.

d : 34.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 3.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

13.33 < 55.46 ✓

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

I_w : 13.33

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

I_{\max} : 55.46

$$\lambda_{\max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

h : 1.20

e: Factor de reducción.

e : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.19 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.19} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.13 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.13} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}} \right]^\beta \leq 1$$

$$h : \underline{0.014}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.057}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.083}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.26} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

$$a : \underline{1.660}$$

$$b : \underline{1.660}$$

Siendo:

$$n = N_{c,Ed} / N_{pl,Rd}$$

$N_{pl,Rd}$: 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.

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0.5$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} , K_{zz} : Coeficientes de interacción.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}}$$

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}}$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

Términos auxiliares:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

n :	0.002
$N_{pl,Rd}$:	110.07 kN
$M_{pl,Rd,y}$:	1.62 kN·m
$M_{pl,Rd,z}$:	1.62 kN·m
a_w :	0.43
a_f :	0.43
A :	4.20 cm ²
b :	4.00 cm
h :	40.00 mm
t_f :	3.00 mm
t_w :	3.00 mm

A :	4.20 cm ²
$W_{pl,y}$:	6.17 cm ³
$W_{pl,z}$:	6.17 cm ³
f_{yd} :	261.90 MPa

f_y :	275.00 MPa
γ_{M1} :	1.05

K_{yy} :	1.00
------------	------

K_{yz} :	0.60
------------	------

K_{zy} :	0.60
------------	------

K_{zz} :	1.00
------------	------

m_y :	1.00
---------	------

m_z :	1.00
---------	------

C_{yy} :	1.00
------------	------

C_{yz} :	1.00
------------	------

C_{zy} :	1.00
------------	------

C_{zz} :	1.00
------------	------

$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$	a _{LT} : <u>0.00</u>
$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^{-2} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$	b _{LT} : <u>0.00</u>
$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$	c _{LT} : <u>0.00</u>
$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$	d _{LT} : <u>0.00</u>
$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$	e _{LT} : <u>0.00</u>
$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$	w _y : <u>1.33</u>
$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$	w _z : <u>1.33</u>
$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$	n _{pl} : <u>0.00</u>

Puesto que:

$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$	0.00 ≤ 0.20
---	-------------

- | | |
|---|---|
| C _{m,y} = C _{m,y,0} | C _{m,y} : <u>1.00</u> |
| C _{m,z} = C _{m,z,0} | C _{m,z} : <u>1.00</u> |
| C _{m,LT} = 1.00 | C _{m,LT} : <u>1.00</u> |
| C _{m,y,0} , C _{m,z,0} : Factores de momento flector uniforme equivalente. | C _{m,y,0} : <u>1.00</u> |
| | C _{m,z,0} : <u>1.00</u> |
| 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 : <u>1.00</u> |
| C _y , C _z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. | C _y : <u>1.00</u> |
| | C _z : <u>1.00</u> |
| C _{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral. | C _{LT} : <u>1.00</u> |
| λ _{máx} : Esbeltez máxima entre λ _y y λ _z . | λ _{máx} : <u>0.04</u> |
| λ _y , λ _z : Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. | λ _y : <u>0.04</u> |
| | λ _z : <u>0.04</u> |
| λ _{LT} : Esbeltez reducida. | λ _{LT} : <u>0.00</u> |
| λ ₀ : Esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme. | λ ₀ : <u>0.00</u> |
| 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} : <u>4.62</u> cm ³ |
| | W _{el,z} : <u>4.62</u> cm ³ |
| N _{cr,y} : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. | N _{cr,y} : <u>60977.05</u> kN |
| N _{cr,z} : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. | N _{cr,z} : <u>60977.05</u> kN |
| I _y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. | I _y : <u>9.25</u> cm ⁴ |
| I _t : Momento de inercia a torsión uniforme. | I _t : <u>15.71</u> cm ⁴ |

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$1.13 \text{ kN} \leq 16.32 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{1.13} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{32.65} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot Q1$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.007 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.20 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 30.77 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 30.85 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.38 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.034 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 1.13 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 32.65 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.27 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Barra N7/N21

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N7	N21	0.138	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β		2.00	2.00	0.00	0.00	
	L _K		0.276	0.276	0.000	0.000	
	C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
	C ₁		-		1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)														Estado
	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	
N7/N21	N.P. ⁽¹⁾	N _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0 m η < 0.1	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η < 0.1	x: 0 m η = 0.1	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{Ed} = 0.00 N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE h = 0.1
Definición: 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 η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.21}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$$N_{c,Ed} / N_{cr} : \underline{0.000}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{2525.72} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{2525.72} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{2525.72} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$11.33 < \underline{55.46} \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h : Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e : Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N7, para la combinación de acciones PP+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

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 (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N6/N7

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N6	N7	0.248	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: (¹) Inercia respecto al eje indicado (²) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	0.50	0.50	0.00	0.00		
	L _k	0.124	0.124	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)													Estado	
	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N6/N7	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	x: 0.184 m η = 2.6	x: 0 m η = 3.0	x: 0 m η = 1.4	x: 0 m η = 5.4	x: 0 m η = 0.2	η = 1.5	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 8.3	η < 0.1	η = 0.5	x: 0 m η = 0.2	η = 1.5	CUMPLE h = 8.3

I_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_z: Resistencia a corte Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_yM_zV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 M_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

- h_w: Altura del alma. h_w : 34.00 mm
- t_w: Espesor del alma. t_w : 3.00 mm
- A_w: Área del alma. A_w : 2.04 cm²
- A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida. A_{fc,ef} : 1.20 cm²
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. k : 0.30
- E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Producido por un profesional de A3P

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.026} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.184 m del nudo N6, para la combinación de acciones PP+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{2.84} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.030 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N6, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 3.26 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.10

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.000

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 12482.65 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 12482.65 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 12482.65 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.014} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N6, para la combinación de acciones PP+1.05·Q4+1.5·V3.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N6, para la combinación de acciones PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V4.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.054} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N6, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+0.9·V1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N6, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.07} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h : Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e : Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.015} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.49} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.07 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.07} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.49 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.49} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}} \right]^\beta \leq 1$$

$$h : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.064} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.083} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N6, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo.

$$N_{c,Ed} : \underline{2.76} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1-1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

$$a : \underline{1.661}$$

$$b : \underline{1.661}$$

Siendo:

Producido por una versión no profesional de CYPE

$$n = N_{c,Ed} / N_{pl,Rd}$$

$N_{pl,Rd}$: 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.

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0.5$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

n :	0.025
$N_{pl,Rd}$:	110.07 kN
$M_{pl,Rd,y}$:	1.62 kN·m
$M_{pl,Rd,z}$:	1.62 kN·m
a_w :	0.43
a_f :	0.43
A :	4.20 cm ²
b :	4.00 cm
h :	40.00 mm
t_f :	3.00 mm
t_w :	3.00 mm

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

A :	4.20 cm ²
$W_{pl,y}$:	6.17 cm ³
$W_{pl,z}$:	6.17 cm ³
f_{yd} :	261.90 MPa

K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} , K_{zz} : Coeficientes de interacción.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}}$$

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}}$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

f_y :	275.00 MPa
γ_{M1} :	1.05
K_{yy} :	0.98
K_{yz} :	0.59
K_{zy} :	0.59
K_{zz} :	0.98

Términos auxiliares:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

m_y :	1.00
m_z :	1.00

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yy} :	1.02
C_{yz} :	1.02
C_{zy} :	1.02
C_{zz} :	1.02

$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$	$a_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^{-2} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$	$b_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$	$c_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$	$d_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$	$e_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$	$w_y : \underline{\quad 1.33 \quad}$
$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$	$w_z : \underline{\quad 1.33 \quad}$
$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$	$n_{pl} : \underline{\quad 0.03 \quad}$

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$$

$0.00 \leq 0.20$

$C_{m,y} = C_{m,y,0}$	$C_{m,y} : \underline{\quad 1.00 \quad}$
$C_{m,z} = C_{m,z,0}$	$C_{m,z} : \underline{\quad 1.00 \quad}$
$C_{m,LT} = 1.00$	$C_{m,LT} : \underline{\quad 1.00 \quad}$
$C_{m,y,0}, C_{m,z,0}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.	$C_{m,y,0} : \underline{\quad 1.00 \quad}$
	$C_{m,z,0} : \underline{\quad 1.00 \quad}$
C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.	$C_1 : \underline{\quad 1.00 \quad}$

C_y, C_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$C_y : \underline{\quad 1.00 \quad}$

$C_z : \underline{\quad 1.00 \quad}$

C_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$C_{LT} : \underline{\quad 1.00 \quad}$

$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$.

$\bar{\lambda}_{máx} : \underline{\quad 0.10 \quad}$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y : \underline{\quad 0.10 \quad}$

$\bar{\lambda}_z : \underline{\quad 0.10 \quad}$

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme.

$\bar{\lambda}_0 : \underline{\quad 0.00 \quad}$

$W_{el,y}, W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{el,y} : \underline{\quad 4.62 \quad} \text{ cm}^3$

$W_{el,z} : \underline{\quad 4.62 \quad} \text{ cm}^3$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y} : \underline{\quad 12482.65 \quad} \text{ kN}$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z} : \underline{\quad 12482.65 \quad} \text{ kN}$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$I_y : \underline{\quad 9.25 \quad} \text{ cm}^4$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t : \underline{\quad 15.71 \quad} \text{ cm}^4$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.49 \text{ kN} \leq 16.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.49} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{32.53} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot Q1$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.002 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N6, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.07 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 30.73 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 30.85 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.56 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.015 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.49 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:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 32.53 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.80 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Barra N6/N12

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N6	N12	0.177	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β		0.50	0.50	0.00	0.00	
	L _K		0.088	0.088	0.000	0.000	
	C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
	C ₁		-		1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)													Estado	
	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N6/N12	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	η = 0.2	η = 0.9	x: 0.177 m η = 15.7	x: 0.177 m η = 1.4	x: 0.04 m η = 11.5	x: 0.177 m η = 0.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.177 m η = 16.6	η < 0.1	η = 1.7	x: 0.04 m η = 11.7	x: 0.177 m η = 0.7	CUMPLE h = 16.6

Notación:
 I_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_z: Resistencia a corte Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_yM_zV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 M_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

- h_w: Altura del alma. h_w : 34.00 mm
- t_w: Espesor del alma. t_w : 3.00 mm
- A_w: Área del alma. A_w : 2.04 cm²
- A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida. A_{fc,ef} : 1.20 cm²
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. k : 0.30
- E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Producido por un profesional de CYPE

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.002 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 0.19 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 110.07 kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.009 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 1.03 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.07

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.000

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 24528.44 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 24528.44 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 24528.44 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.157} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.014} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones PP + 1.05·Q4 + 1.5·V3.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones PP + 1.05·Q5 + 1.5·V4.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.115} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.040 m del nudo N6, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.56} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.22} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$3.56 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{\quad 3.56 \quad} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{\quad 30.85 \quad} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.19 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{\quad 0.19 \quad} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{\quad 32.70 \quad} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}} \right]^\beta \leq 1$$

$$h : \underline{\quad 0.045 \quad}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{\quad 0.166 \quad}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{\quad 0.108 \quad}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo.

$$N_{c,Ed} : \underline{\quad 0.97 \quad} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{\quad 0.25 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{\quad 0.01 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{\quad 1 \quad}$$

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Momentos flectores resistentes plásticos reducidos de cálculo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{\quad 1.62 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{\quad 1.62 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1-1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

$$a : \underline{\quad 1.660 \quad}$$

$$b : \underline{\quad 1.660 \quad}$$

Siendo:

$$n = N_{c,Ed} / N_{pl,Rd}$$

$N_{pl,Rd}$: 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.

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0.5$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} , K_{zz} : Coeficientes de interacción.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}}$$

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}}$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

Términos auxiliares:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

n :	0.009
$N_{pl,Rd}$:	110.07 kN
$M_{pl,Rd,y}$:	1.62 kN·m
$M_{pl,Rd,z}$:	1.62 kN·m
a_w :	0.43
a_f :	0.43
A :	4.20 cm ²
b :	4.00 cm
h :	40.00 mm
t_f :	3.00 mm
t_w :	3.00 mm

A :	4.20 cm ²
$W_{pl,y}$:	6.17 cm ³
$W_{pl,z}$:	6.17 cm ³
f_{yd} :	261.90 MPa

f_y :	275.00 MPa
γ_{M1} :	1.05

K_{yy} :	0.99
------------	------

K_{yz} :	0.60
------------	------

K_{zy} :	0.60
------------	------

K_{zz} :	0.99
------------	------

m_y :	1.00
---------	------

m_z :	1.00
---------	------

C_{yy} :	1.01
------------	------

C_{yz} :	1.01
------------	------

C_{zy} :	1.01
------------	------

C_{zz} :	1.01
------------	------

$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$	$a_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^{-2} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$	$b_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$	$c_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$	$d_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$	$e_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$	$w_y : \underline{\quad 1.33 \quad}$
$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$	$w_z : \underline{\quad 1.33 \quad}$
$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$	$n_{pl} : \underline{\quad 0.01 \quad}$

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$$

$0.00 \leq 0.20$

$C_{m,y} = C_{m,y,0}$	$C_{m,y} : \underline{\quad 1.00 \quad}$
$C_{m,z} = C_{m,z,0}$	$C_{m,z} : \underline{\quad 1.00 \quad}$
$C_{m,LT} = 1.00$	$C_{m,LT} : \underline{\quad 1.00 \quad}$

$C_{m,y,0}, C_{m,z,0}$: 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. $C_1 : \underline{\quad 1.00 \quad}$

C_y, C_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $C_y : \underline{\quad 1.00 \quad}$
 $C_z : \underline{\quad 1.00 \quad}$

C_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral. $C_{LT} : \underline{\quad 1.00 \quad}$

$\bar{\lambda}_{máx}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. $\bar{\lambda}_{máx} : \underline{\quad 0.07 \quad}$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : \underline{\quad 0.07 \quad}$
 $\bar{\lambda}_z : \underline{\quad 0.07 \quad}$

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez reducida. $\bar{\lambda}_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme. $\bar{\lambda}_0 : \underline{\quad 0.00 \quad}$

$W_{el,y}, W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{el,y} : \underline{\quad 4.62 \quad} \text{ cm}^3$
 $W_{el,z} : \underline{\quad 4.62 \quad} \text{ cm}^3$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y} : \underline{\quad 24528.44 \quad} \text{ kN}$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z} : \underline{\quad 24528.44 \quad} \text{ kN}$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. $I_y : \underline{\quad 9.25 \quad} \text{ cm}^4$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme. $I_t : \underline{\quad 15.71 \quad} \text{ cm}^4$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$3.56 \text{ kN} \leq 15.23 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{3.56} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{30.45} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.017} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V3$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.117 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.040 m del nudo N6, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 3.56 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.02 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 30.45 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 30.85 kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 1.92 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.007 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.22 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.02 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 32.27 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 2.00 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Barra N12/N11

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N12	N11	0.103	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	0.50	0.50	0.00	0.00		
	L _K	0.052	0.052	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)												Estado		
	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t		M _y V _z	M _z V _y
N12/N11	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	η = 2.3	η = 2.4	x: 0.103 m η = 21.0	x: 0.103 m η = 3.4	x: 0 m η = 14.4	x: 0.103 m η = 1.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 0.103 m η = 22.7	η < 0.1	η = 5.1	x: 0 m η = 15.0	x: 0.103 m η = 1.4	CUMPLE h = 22.7

I_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_z: Resistencia a corte Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_yM_zV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 M_yV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_zV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 34.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 3.00 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 2.04 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 1.20 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Producido por una versión no profesional de AutoCAD

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.023 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 2.54 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 110.07 kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.024 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 2.61 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.04

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.000

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 72024.27 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 72024.27 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 72024.27 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.210} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V1$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q5 + 1.5 \cdot V2$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones PP+1.05·Q4+1.5·V3.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·V4.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.144} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{4.45} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h : Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e : Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.014} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·V4.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.44} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$4.45 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q3 + 0.9 \cdot V2$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{4.45} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.43 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q5 + 1.5 \cdot V4$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.43} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}} \right]^\beta \leq 1$$

$$h : \underline{0.074}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.227}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.148}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N11, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo.

$$N_{c,Ed} : \underline{1.84} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

$$a : \underline{1.661}$$

$$b : \underline{1.661}$$

Siendo:

Producido por una versión no profesional de CYPE

$$n = N_{c,Ed} / N_{pl,Rd}$$

$N_{pl,Rd}$: 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.

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0.5$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} , K_{zz} : Coeficientes de interacción.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}}$$

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}}$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

Términos auxiliares:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{m,y}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{m,z}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

n :	0.017
$N_{pl,Rd}$:	110.07 kN
$M_{pl,Rd,y}$:	1.62 kN·m
$M_{pl,Rd,z}$:	1.62 kN·m
a_w :	0.43
a_f :	0.43
A :	4.20 cm ²
b :	4.00 cm
h :	40.00 mm
t_f :	3.00 mm
t_w :	3.00 mm

A :	4.20 cm ²
$W_{pl,y}$:	6.17 cm ³
$W_{pl,z}$:	6.17 cm ³
f_{yd} :	261.90 MPa

f_y :	275.00 MPa
γ_{M1} :	1.05

K_{yy} :	0.99
------------	------

K_{yz} :	0.59
------------	------

K_{zy} :	0.59
------------	------

K_{zz} :	0.99
------------	------

m_y :	1.00
---------	------

m_z :	1.00
---------	------

C_{yy} :	1.01
------------	------

C_{yz} :	1.01
------------	------

C_{zy} :	1.01
------------	------

C_{zz} :	1.01
------------	------

$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$	$a_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^{-2} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$	$b_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$	$c_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$	$d_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$	$e_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$
$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$	$w_y : \underline{\quad 1.33 \quad}$
$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$	$w_z : \underline{\quad 1.33 \quad}$
$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$	$n_{pl} : \underline{\quad 0.02 \quad}$

Puesto que:

$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$	$0.00 \leq 0.20$
---	------------------

- | | |
|--|--|
| $C_{m,y} = C_{m,y,0}$ | $C_{m,y} : \underline{\quad 1.00 \quad}$ |
| $C_{m,z} = C_{m,z,0}$ | $C_{m,z} : \underline{\quad 1.00 \quad}$ |
| $C_{m,LT} = 1.00$ | $C_{m,LT} : \underline{\quad 1.00 \quad}$ |
| $C_{m,y,0}, C_{m,z,0}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. | $C_{m,y,0} : \underline{\quad 1.00 \quad}$ |
| | $C_{m,z,0} : \underline{\quad 1.00 \quad}$ |
| C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. | $C_1 : \underline{\quad 1.00 \quad}$ |
| C_y, C_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. | $C_y : \underline{\quad 1.00 \quad}$ |
| | $C_z : \underline{\quad 1.00 \quad}$ |
| C_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral. | $C_{LT} : \underline{\quad 1.00 \quad}$ |
| $\bar{\lambda}_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. | $\bar{\lambda}_{m\acute{a}x} : \underline{\quad 0.04 \quad}$ |
| $\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. | $\bar{\lambda}_y : \underline{\quad 0.04 \quad}$ |
| | $\bar{\lambda}_z : \underline{\quad 0.04 \quad}$ |
| $\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez reducida. | $\bar{\lambda}_{LT} : \underline{\quad 0.00 \quad}$ |
| $\bar{\lambda}_0$: Esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme. | $\bar{\lambda}_0 : \underline{\quad 0.00 \quad}$ |
| $W_{el,y}, W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. | $W_{el,y} : \underline{\quad 4.62 \quad} \text{ cm}^3$ |
| | $W_{el,z} : \underline{\quad 4.62 \quad} \text{ cm}^3$ |
| $N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. | $N_{cr,y} : \underline{\quad 72024.27 \quad} \text{ kN}$ |
| $N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. | $N_{cr,z} : \underline{\quad 72024.27 \quad} \text{ kN}$ |
| I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. | $I_y : \underline{\quad 9.25 \quad} \text{ cm}^4$ |
| I_t : Momento de inercia a torsión uniforme. | $I_t : \underline{\quad 15.71 \quad} \text{ cm}^4$ |

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q3 + 0.9 \cdot V2$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$4.45 \text{ kN} \leq 14.82 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{4.45} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{29.64} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.051} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V3$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.06} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.150 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q3+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 4.45 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.05 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 29.64 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 30.85 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 5.92 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.014 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N11, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·V4.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.44 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:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 32.35 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 1.62 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Barra N12/N7

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N12	N7	0.304	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	0.50	0.50	0.00	0.00		
	L _k	0.152	0.152	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)													Estado	
	λ _w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
N12/N7	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	x: 0.234 m η = 2.8	x: 0 m η = 2.7	x: 0 m η = 7.7	x: 0 m η = 3.7	x: 0.234 m η = 2.5	x: 0 m η = 0.7	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 12.2	η < 0.1	η = 0.5	x: 0.234 m η = 2.5	x: 0 m η = 0.7	CUMPLE h = 12.2
Definición: λ _w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N: Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _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 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)															

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{rc,ef}}}$$

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 34.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 3.00 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 2.04 cm²

A_{rc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{rc,ef} : 1.20 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Producido por una versión no profesional de AutoCAD

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.028} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.234 m del nudo N12, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q2 + 1.5 \cdot V1$.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{3.12} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.027 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones PP+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 3.01 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.12

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.000

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 8272.65 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 8272.65 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 8272.65 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.077} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q2 + 1.5 \cdot V1$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.037 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.06 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones PP+1.05·Q4+1.5·V1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.01 kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 1.62 kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 6.17 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.025} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.234 m del nudo N12, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q2 + 1.5 \cdot V1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.77} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.22} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.76 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.76} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.22 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.22} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}} \right]^\beta \leq 1$$

$$h : \underline{0.015} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.122} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.122} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo.

$$N_{t,Ed} : \underline{3.11} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

Siendo:

$$n = N_{t,Ed} / N_{pl,Rd}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0.5$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

$$a : \underline{1.662}$$

$$b : \underline{1.662}$$

$$n : \underline{0.028}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \underline{0.43}$$

$$a_f : \underline{0.43}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$b : \underline{4.00} \text{ cm}$$

$$h : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} , K_{zz} : Coeficientes de interacción.

c_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$$K_{yy} : \underline{1.00}$$

$$K_{yz} : \underline{1.00}$$

$$K_{zy} : \underline{1.00}$$

$$K_{zz} : \underline{1.00}$$

$$c_{LT} : \underline{1.00}$$

Procedido por una versión no profesional de CYPE

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.76 \text{ kN} \leq 15.38 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.76} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{30.75} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+1.5·Q1+0.9·V3.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.025} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.234 m del nudo N12, para la combinación de acciones T·35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.77} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{30.75} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.46} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.007 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N12, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·V2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.22 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:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 32.56 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.66 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Barra N1/N6

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N1	N6	1.210	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β	0.70	0.70	0.00	0.00		
	L _K	0.847	0.847	0.000	0.000		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C ₁	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)												Estado		
N1/N6	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 _y V _z	M _z V _y	CUMPLE h = 31.7
	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	x: 1.21 m η = 3.7	x: 0 m η = 6.0	x: 0.605 m η = 1.3	x: 1.21 m η = 25.5	x: 1.21 m η = 0.4	η = 1.6	x: 0.202 m η < 0.1	η < 0.1	x: 1.21 m η = 31.7	η < 0.1	η = 0.6	x: 1.21 m η = 0.4	η = 1.6	
Notación: 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 _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 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)															

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

- h_w: Altura del alma. h_w : 34.00 mm
- t_w: Espesor del alma. t_w : 3.00 mm
- A_w: Área del alma. A_w : 2.04 cm²
- A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida. A_{fc,ef} : 1.20 cm²
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. k : 0.30
- E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:
f_{yf} = f_y

Producido por una versión no profesional de AutoCAD

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.037} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N6, para la combinación de acciones PP+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{4.08} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.060 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 6.64 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.66

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.025

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 267.23 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 267.23 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 267.23 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.013} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.605 m del nudo N1, para la combinación de acciones PP+1.05·Q5+1.5·V4.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.605 m del nudo N1, para la combinación de acciones PP+1.05·Q4+1.5·V3.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.255} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N6, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.41} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N6, para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q3 + 1.5 \cdot V2$.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N6, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.12} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.04} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$11.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{11.33}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.016} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.53} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.05 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.202 m del nudo N1, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·V4.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.05} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.53 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.53} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}} \right]^\beta \leq 1$$

$$h : \underline{0.103}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.215}$$



$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.317}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N6, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo.

$$N_{c,Ed} : \underline{6.32} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.41} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot \eta^2} \leq 6$$

Siendo:

$$n = N_{c,Ed} / N_{pl,Rd}$$

$N_{pl,Rd}$: 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.

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0.5$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

$$a : \underline{1.666}$$

$$b : \underline{1.666}$$

$$n : \underline{0.057}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \underline{0.43}$$

$$a_f : \underline{0.43}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$b : \underline{4.00} \text{ cm}$$

$$h : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} , K_{zz} : Coeficientes de interacción.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$$K_{yy} : \underline{1.01}$$

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}}$$

$$K_{yz} : \underline{0.61}$$

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}}$$

$$K_{zy} : \underline{0.61}$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

$$K_{zz} : \underline{1.01}$$

Términos auxiliares:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

$$m_y : \underline{1.00}$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

$$m_z : \underline{1.00}$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max}^{-2} \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yy} : \underline{1.01}$$

$$c_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max}^{-2}}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} \quad c_{yz} : \underline{1.01}$$

$$c_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max}^{-2}}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} \quad c_{zy} : \underline{1.01}$$

$$c_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max}^{-2} - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} \quad c_{zz} : \underline{1.01}$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0 \quad a_{LT} : \underline{0.00}$$

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^{-2} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \quad b_{LT} : \underline{0.00}$$

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \quad c_{LT} : \underline{0.00}$$

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}} \quad d_{LT} : \underline{0.00}$$

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \quad e_{LT} : \underline{0.00}$$

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5 \quad w_y : \underline{1.33}$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5 \quad w_z : \underline{1.33}$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \quad n_{pl} : \underline{0.06}$$

Puesto que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)} \quad 0.00 \leq 0.20$$

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} \quad C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} = C_{m,z,0} \quad C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,LT} = 1.00 \quad C_{m,LT} : \underline{1.00}$$

$C_{m,y,0}, C_{m,z,0}$: Factores de momento flector uniforme equivalente. $C_{m,y,0} : \underline{1.00}$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. $C_{m,z,0} : \underline{1.00}$
 $C_1 : \underline{1.00}$

c_y, c_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $c_y : \underline{1.00}$
 $c_z : \underline{1.00}$

c_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral. $c_{LT} : \underline{1.00}$

$\bar{\lambda}_{\max}$: Esbeltez máxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. $\bar{\lambda}_{\max} : \underline{0.66}$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : \underline{0.66}$

$\bar{\lambda}_z : \underline{0.66}$

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez reducida. $\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.00}$

$\bar{\lambda}_0$: Esbeltez reducida, en relación al pandeo lateral, para un momento flector uniforme. $\bar{\lambda}_0 : \underline{0.00}$

$W_{el,y}, W_{el,z}$: Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $W_{el,y} : \underline{4.62} \text{ cm}^3$
 $W_{el,z} : \underline{4.62} \text{ cm}^3$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y} : \underline{267.23} \text{ kN}$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z} : \underline{267.23} \text{ kN}$

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.
 I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

I_y : 9.25 cm⁴
 I_t : 15.71 cm⁴

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q2 + 0.9 \cdot V1$.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.53 \text{ kN} \leq 16.30 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{0.53} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{32.60} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q5 + 0.9 \cdot V4$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.004 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N6, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.12 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 30.74 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 30.85 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.52 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.016 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q2+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.53 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 32.60 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$t_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$t_{T,Ed}$: 0.48 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Barra N2/N12

Perfil: # 40x3.30 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N2	N12	1.486	4.20	9.25	9.25	15.71
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β		0.50	0.50	0.00	0.00	
	L _k		0.743	0.743	0.000	0.000	
	C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
	C ₁		-		1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (EUROCÓDIGO 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013)												Estado		
	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
N2/N12	λ _w ≤ λ _{w,max} Cumple	x: 1.435 m η = 5.2	x: 0 m η = 6.3	x: 1.436 m η = 20.7	x: 1.436 m η = 2.1	x: 0 m η = 1.2	x: 1.436 m η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	x: 1.436 m η = 24.0	η < 0.1	η = 0.1	x: 0 m η = 1.2	x: 1.436 m η = 0.4	CUMPLE h = 24.0

Notación:
 I_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_t: Resistencia a tracción
 N_c: Resistencia a compresión
 M_y: Resistencia a flexión eje Y
 M_z: Resistencia a flexión eje Z
 V_z: Resistencia a corte Z
 V_y: Resistencia a corte Y
 M_yV_z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 M_zV_y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 NM_yM_z: Resistencia a flexión y axil combinados
 NM_yM_zV_yV_z: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t: Resistencia a torsión
 M_tV_z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 M_tV_y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x: Distancia al origen de la barra
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

11.33 ≤ 298.70 ✓

Donde:

- h_w: Altura del alma. h_w : 34.00 mm
- t_w: Espesor del alma. t_w : 3.00 mm
- A_w: Área del alma. A_w : 2.04 cm²
- A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida. A_{fc,ef} : 1.20 cm²
- k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. k : 0.30
- E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa
- f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida. f_{yf} : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Procedido por una versión no profesional de AutoCAD

Resistencia a tracción (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.052 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.435 m del nudo N2, para la combinación de acciones PP+1.05·Q2+1.5·V1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$: 5.72 kN

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$: 110.07 kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.063 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q1+1.05·Q3+1.5·V2.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 6.91 kN

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 110.07 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 : 4.20 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.1)

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.

$\bar{\lambda}$: 0.58

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: Relación de axiles.

$N_{c,Ed} / N_{cr}$: 0.020

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 4.20 cm²

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 347.12 kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 347.12 kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 347.12 kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.207} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.436 m del nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.436 m del nudo N2, para la combinación de acciones PP+1.05·Q5+1.5·V2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a flexión eje Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.436 m del nudo N2, para la combinación de acciones PP+1.05·Q5+1.5·V4.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.436 m del nudo N2, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.012 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.37 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 30.85 kN

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

A_v : 2.04 cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d: Altura del alma.

d : 34.00 mm

t_w : Espesor del alma.

t_w : 3.00 mm

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

11.33 < 55.46 ✓

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

l_w : 11.33

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$l_{m\acute{a}x}$: 55.46

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

h : 1.20

e: Factor de reducción.

e : 0.92

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

f_{ref} : 235.00 MPa

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

Resistencia a corte Y (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.436 m del nudo N2, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.13} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{2.16} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{34.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-5: 2018, Artículo 5)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

$$13.33 < 55.46 \quad \checkmark$$

Donde:

l_w : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{13.33}$$

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$l_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{55.46}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

h: Coeficiente que permite considerar la resistencia adicional en régimen plástico debida al endurecimiento por deformación del material.

$$h : \underline{1.20}$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.37 \text{ kN} \leq 15.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.37} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.11 \text{ kN} \leq 16.35 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $PP + 1.05 \cdot Q1 + 1.05 \cdot Q5 + 1.5 \cdot V4$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.11} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{32.70} \text{ kN}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.9)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}} \right]^\beta \leq 1$$

$$h : \underline{0.074} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.240} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.240} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.436 m del nudo N2, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q1 + 1.5 \cdot Q4 + 0.9 \cdot V1$.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo.

$$N_{t,Ed} : \underline{2.25} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{0.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_{N,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

Siendo:

$$n = N_{t,Ed} / N_{pl,Rd}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0.5$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Área de la sección bruta.

b: Ancho del ala.

h: Canto de la sección.

t_f : Espesor del ala.

t_w : Espesor del alma.

$$a : \underline{1.661}$$

$$b : \underline{1.661}$$

$$n : \underline{0.020}$$

$$N_{pl,Rd} : \underline{110.07} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \underline{0.43}$$

$$a_f : \underline{0.43}$$

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$b : \underline{4.00} \text{ cm}$$

$$h : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$$t_f : \underline{3.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Resistencia a pandeo: (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.3.3)

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.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

K_{yy} , K_{yz} , K_{zy} , K_{zz} : Coeficientes de interacción.

c_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

$$A : \underline{4.20} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{6.17} \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$$K_{yy} : \underline{1.00}$$

$$K_{yz} : \underline{1.00}$$

$$K_{zy} : \underline{1.00}$$

$$K_{zz} : \underline{1.00}$$

$$c_{LT} : \underline{1.00}$$

Procedido por una versión no profesional de CYPE

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.10)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$0.37 \text{ kN} \leq 15.40 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \underline{0.37} \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \underline{30.80} \text{ kN}$$

Resistencia a torsión (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+1.5·Q1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{1.24} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.012} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·V1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.37} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{30.80} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{30.85} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.22} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.21} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

h : 0.004 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.436 m del nudo N2, para la combinación de acciones PP+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·V3.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 0.13 kN

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$M_{T,Ed}$: 0.00 kN·m

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 32.67 kN

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{pl,Rd}$: 32.70 kN

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$\tau_{T,Ed}$: 0.15 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

W_T : 8.21 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (Eurocódigo 3 UNE-EN 1993-1-1: 2013, Tabla 3.1)

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05



Analizando los resultados de las barras de esta primera estructura lateral se ha descubierto que la comprobación que siempre es la más desfavorable, y por lo tanto marca el aprovechamiento total de resistencia de la barra es la comprobación de resistencia a flexión y axil combinados. Para no hacer demasiado extenso los resultados se mostrará un resumen con el porcentaje de aprovechamiento de las barras restantes que habíamos seleccionado debido a la simetría de la estructura:

Barras soporte de las plataformas del primer módulo de asientos:

- N5N27: $\eta=21.92\%$
- N20N41: $\eta=17.37\%$
- N113N109: $\eta=81.98\%$
- N16N37: $\eta=16.09\%$
- N19N40: $\eta=19.85\%$
- N116N107: $\eta=60.36\%$
- N15N36: $\eta=23.38\%$
- N14N35: $\eta=9.81\%$
- N111N86: $\eta=61.18\%$
- N11N32: $\eta=24.87\%$
- N10N31: $\eta=9.21\%$
- N8N22: $\eta=47.49\%$

Barras de la segunda estructura lateral:

- N27N100: $\eta=11.53\%$
- N100N39: $\eta=27.63\%$
- N39N41: $\eta=12.67\%$
- N109N39: $\eta=75.90\%$
- N37N109: $\eta=86.53\%$
- N106N96: $\eta=20.16\%$
- N96N38: $\eta=22.74\%$
- N38N40: $\eta=9.61\%$
- N107N38: $\eta=85.27\%$
- N36N107: $\eta=86.31\%$
- N98N90: $\eta=37.24\%$
- N90N34: $\eta=31.53\%$
- N34N35: $\eta=9.23\%$
- N86N34: $\eta=77.73\%$
- N32N86: $\eta=70.93\%$
- N32N30: $\eta=8.95\%$
- N30N31: $\eta=9.70\%$
- N22N30: $\eta=9.07\%$
- N29N22: $\eta=17.34\%$
- N29N42: $\eta=0.07\%$
- N28N29: $\eta=11.50\%$
- N28N33: $\eta=17.00\%$
- N33N32: $\eta=24.40\%$

- N33N29: $\eta=11.52\%$
- N23N28: $\eta=36.82\%$
- N24N33: $\eta=27.02\%$
- N23N24: $\eta=12.48\%$
- N25N26: $\eta=15.87\%$
- N25N36: $\eta=26.32\%$
- N26N37: $\eta=36.16\%$
- N26N27: $\eta=14.03\%$

Barras soporte de la escalera:

- N27N48: $\eta=12.04\%$
- N109N110: $\eta=31.87\%$
- N37N58: $\eta=5.02\%$
- N107N108: $\eta=18.03\%$
- N36N57: $\eta=2.26\%$
- N32N53: $\eta=39.88\%$
- N31N52: $\eta=6.61\%$
- N22N44: $\eta=18.16\%$

Barras de la zona trasera de la grada:

- N1N22: $\eta=10.65\%$
- N1N23: $\eta=2.10\%$
- N23N43: $\eta=0.83\%$
- N43N65: $\eta=2.09\%$
- N65N44: $\eta=10.88\%$

Una vez visto que todas las barras tienen la resistencia necesaria para soportar las cargas que reciben, y que no se deforman excesivamente, cumpliendo con la flecha límite, se procedió a observar la deformada de la grada completa.

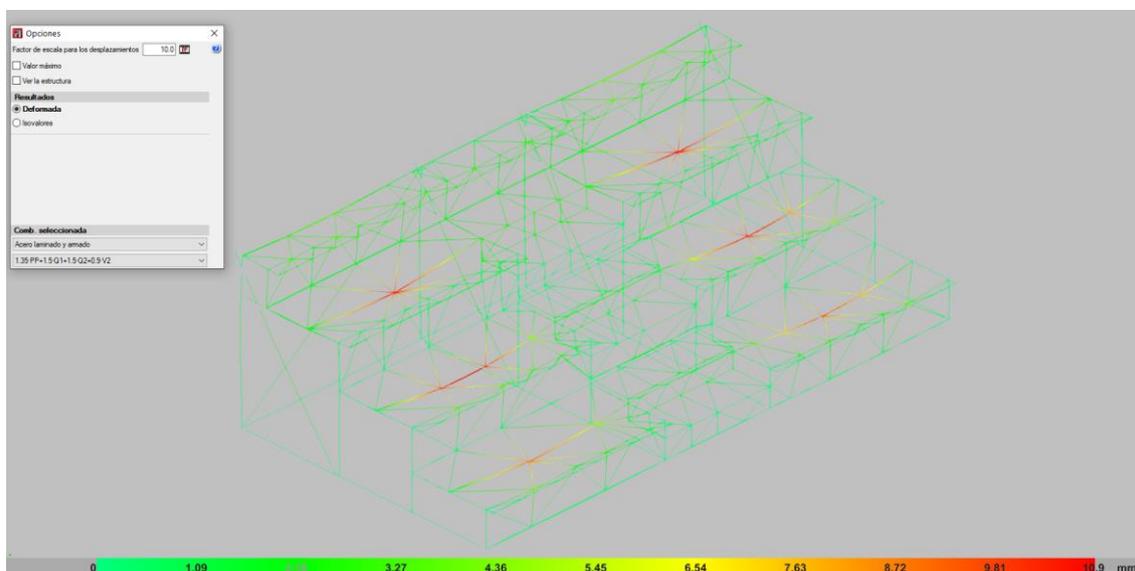


Figura 68: Deformada con la combinación más desfavorable

Como podemos observar en la anterior imagen, las mayores deformaciones se alcanzan con la combinación de cargas donde el peso propio lleva un coeficiente de combinación de 1,35, la sobrecarga de uso vertical y la sobrecarga de uso horizontal frontal Q2 de 1,5, y la acción del viento cuando incide sobre la parte trasera de la grada de 0,9, llegando a los 10,9 mm en el punto más desfavorable.

Estos puntos se dan en el centro de las láminas que conforman las plataformas, donde por donde justo pasa por debajo una barra, las cuales como hemos visto anteriormente cumplen con la flecha, y por lo tanto podemos afirmar que estas deformaciones (10,9 mm) cumplen con la normativa.

En cuanto a las reacciones en los apoyos tenemos los siguientes resultados ante la acción el viento V2.

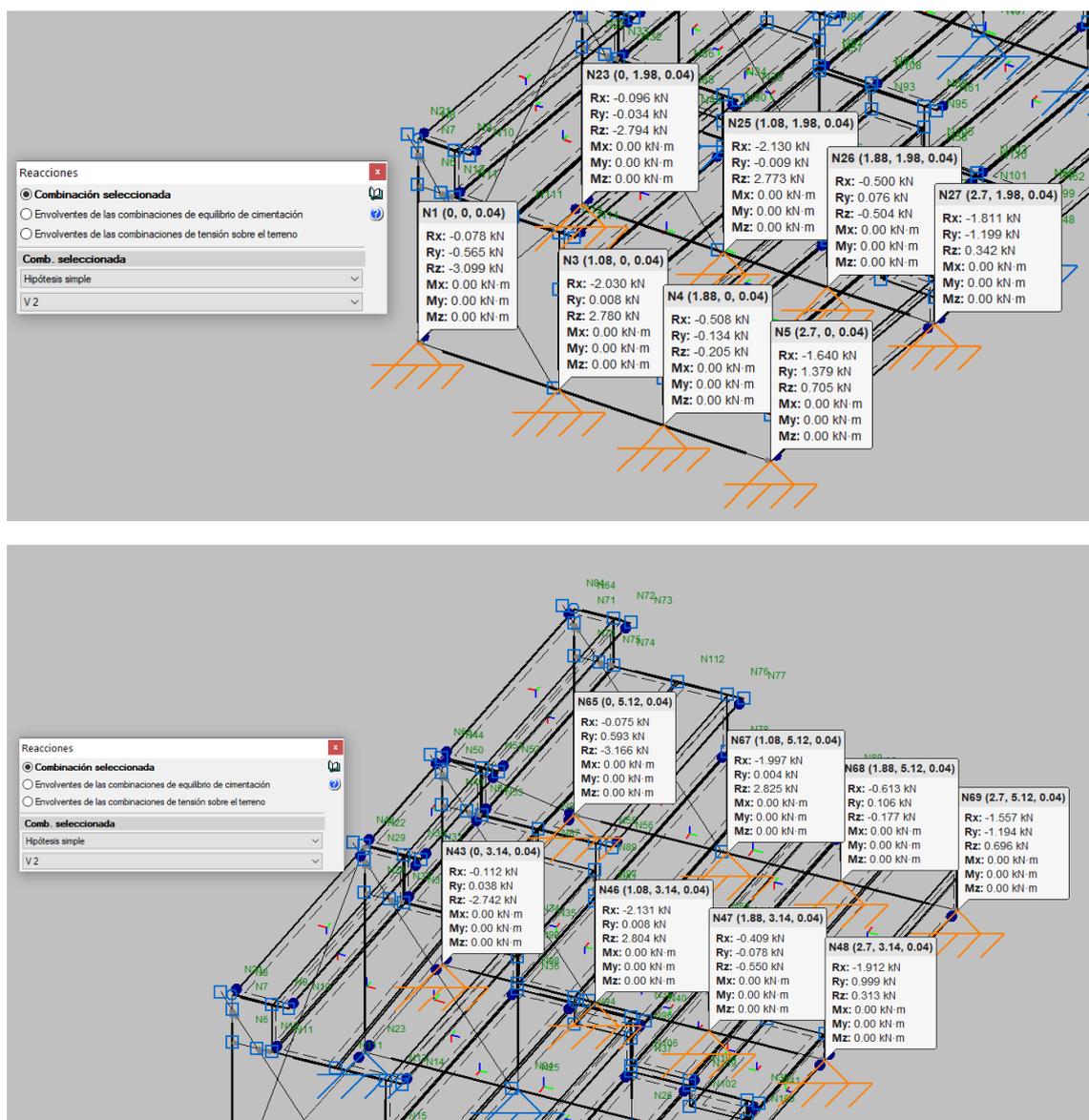


Figura 69: Reacciones en los apoyos ante la acción de viento más desfavorable

Con estos resultados debemos realizar la comprobación frente al vuelco calculando si el vuelco producido por las reacciones negativas es menor que el momento producido por las reacciones positivas.

$$-3,099kN \cdot 2,7m + 2,780 kN \cdot 1,64 m - 0,205 \cdot 0,84 m + 0,705 kN \cdot 0,04 m = -3,95kNm$$

$$-2,794kN \cdot 2,7m + 2,773 kN \cdot 1,64 m - 0,504 \cdot 0,84 m + 0,342 kN \cdot 0,04 m = -3,41 kNm$$

$$-2,742kN \cdot 2,7m + 2,804 kN \cdot 1,64 m - 0,550 \cdot 0,84 m + 0,313 kN \cdot 0,04 m = -3,25 kNm$$

$$-3,166kN \cdot 2,7m + 2,825 kN \cdot 1,64 m - 0,177 \cdot 0,84 m + 0,696 kN \cdot 0,04 m = -4,04 kNm$$

En total tendremos un momento de vuelco de -14,65 kNm, por lo tanto, la grada volcaría ante la situación de viento más desfavorable, por lo que se tendrán que tomar las medidas oportunas para que esto no suceda, las cuales se verán en el siguiente capítulo del próximo anexo.

También se realizó la comprobación de cargas puntuales que indica la normativa con una carga de 4 kN en el módulo de asientos y una carga de 4,5 kN en el módulo de escaleras. La normativa nos permite convertir esta carga puntual en repartida en un área cuadrada de 50 cm de lado que es lo que se ha realizado en CYPE 3D.

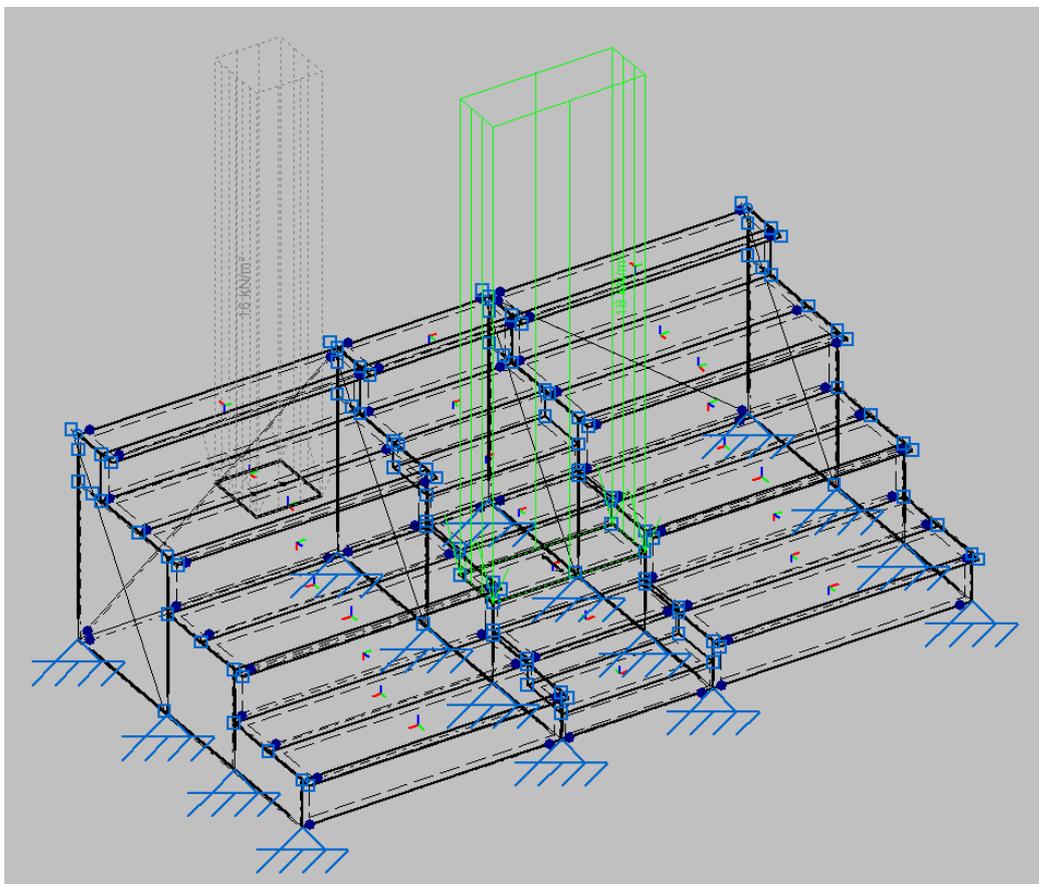


Figura 70: Comprobación frente a cargas concentradas

En realidad, en el caso de la escalera el área se ha escogido mayor, pero con la misma carga repartida que si fuese para un área cuadrada de 50 cm de lado, por lo que la carga es mayor que la estipulada en la norma. Estas cargas serán de 16kN/m² en el caso del módulo de

asientos ya que 16kN/m^2 repartidos en un área de $0,25\text{ m}^2$ son 4 kN , y por el mismo motivo en las escaleras será de 18kN/m^2 para que en el área de $0,25\text{ m}^2$ sean $4,5\text{ kN}$.

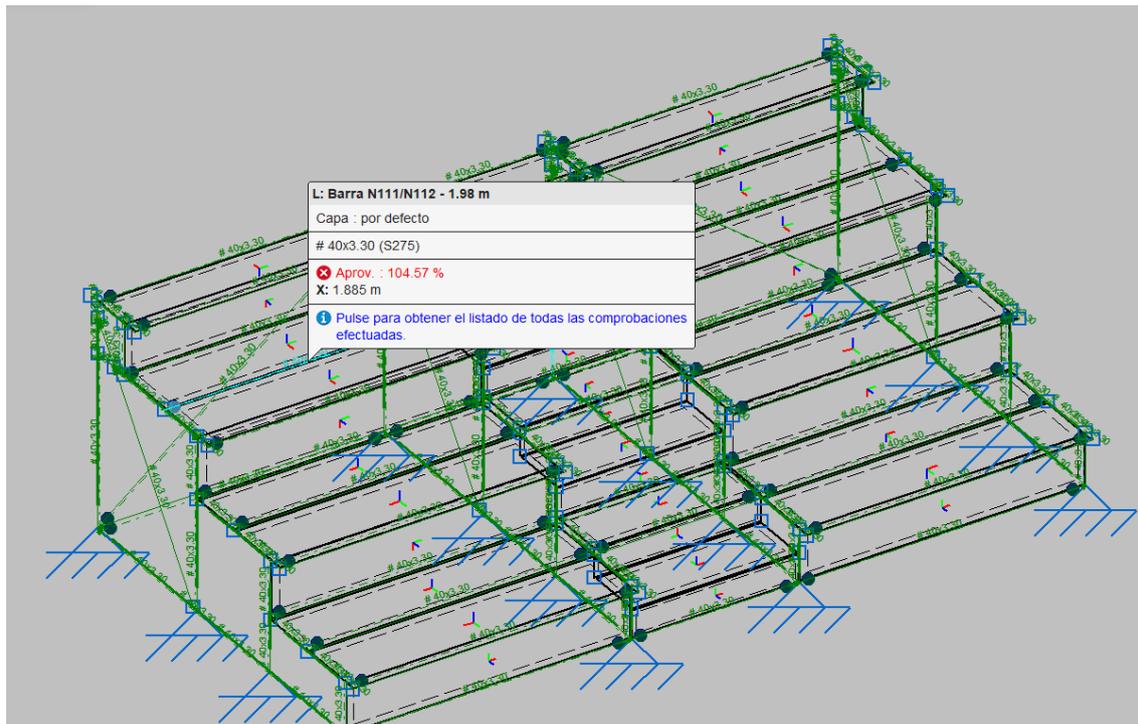


Figura 71: Resultado de la comprobación con cargas concentradas

Como podemos observar en la anterior imagen las barras en la zona de la escalera cumplen, mientras que en la plataforma de asientos falla una barra por un 4%. En el capítulo 2.2.1 del anexo I se explicaba que estas cargas eran las más desfavorables (UNE-EN 1991-1-1), y que la norma UNE-EN 13200-6:2013 decía que estas cargas no se tenían que aplicar en gradas desmontables y el valor que se proponía era de 1 kN , valor muy inferior a los 4 y $4,5\text{ kN}$ considerados. Teniendo en cuenta que en esta grada estos valores del Eurocódigo son extremadamente desfavorables ya que en ningún caso se van a colocar más de 400 kg en un área de $0,25\text{ m}^2$, y teniendo en cuenta que tan solo falla una barra por un 4% de su resistencia se da por cumplida esta comprobación.



DOCUMENTO Nº4

ANEXO III

SOLUCIONES Y COMPROBACIONES

SOBRE LA GRADA FINAL

Autor: Rubén Cabrejas Merino

Director: Jesús Cuartero Salafranca

Noviembre de 2020



Índice de Anexo III. Soluciones y comprobaciones sobre la grada final

1. Bases regulables	414
2. Barandillas	417
3. Uniones	422
4. Embellecedores	424
5. Lluvia	424
6. Asientos	424
7. Montaje y desmontaje	425
8. Transporte	426
9. Configuraciones de la grada	426
10. Visión	427
11. Responsabilidades	428

1. Bases regulables

Las bases regulables que se han escogido para sustentar la grada y regular la altura de esta con la idea de solucionar las posibles imperfecciones que pueda haber en el terreno son los soportes básicos regulables GS80014.F los cuales están compuestos por un husillo de 34 mm de diámetro y una altura de 500 mm, una tuerca de brazos sobre la que apoyarán los pilares de nuestra grada, y una pletina de 120x120 mm y 5 mm de espesor.



Figura 72: Base regulable GS80014.F

En los resultados de nuestra grada vimos como ante la acción del viento V2, la estructura no cumplía con la comprobación frente al vuelco, por lo que la solución que se ha adoptado es anclar estas bases regulables al pavimento.

Para saber la fuerza con la que se tendrán que anclar estas bases primero tendremos que calcular cual es el momento de vuelco máximo que aparece en la situación más desfavorable, guiándonos por los resultados que vimos en la figura 68.

Los cálculos son los siguientes, los cuales son los que ya se realizaron en el anterior capítulo:

$$-3,099kN \cdot 2,7m + 2,780 kN \cdot 1,64 m - 0,205 \cdot 0,84 m + 0,705 kN \cdot 0,04 m = -3,95kNm$$

$$-2,794kN \cdot 2,7m + 2,773 kN \cdot 1,64 m - 0,504 \cdot 0,84 m + 0,342 kN \cdot 0,04 m = -3,41 kNm$$

$$-2,742kN \cdot 2,7m + 2,804 kN \cdot 1,64 m - 0,550 \cdot 0,84 m + 0,313 kN \cdot 0,04 m = -3,25 kNm$$

$$-3,166kN \cdot 2,7m + 2,825 kN \cdot 1,64 m - 0,177 \cdot 0,84 m + 0,696 kN \cdot 0,04 m = -4,04 kNm$$

En total tendremos un momento de vuelco de -14,65 kNm. Como queremos que todas las bases sean iguales, calcularemos la fuerza con la que tienen que estar ancladas cada una de ellas con la siguiente expresión:

$$x \cdot 2,7m \cdot 4 + x \cdot 1,64 m \cdot 4 + x \cdot 0,84 m \cdot 4 + x \cdot 0,04 m \cdot 4 = -14,65 kNm; x = 0,702 kN$$



Por lo tanto, anclando las bases regulables con 0,702 kN, las cuales son soportadas por anclajes metálicos de expansión por par controlado, para uso en hormigón fisurado y no fisurado, de métrica 8, no hay peligro de extracción porque, como podemos observar en las siguientes figuras, se cumplen tanto a tracción como a cortante, y tanto en el hormigón como en el anclaje metálico, sobradamente con la carga de 0,702 kN.

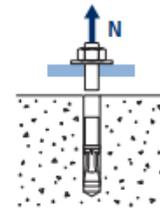
Resistencia característica N_{Rk} y V_{Rk}													
TRACCIÓN						CORTANTE							
Métrica		M8	M10	M12	M16	M20	Métrica		M8	M10	M12	M16	M20
N_{Rk}	Hormigón no fisurado [kN]	9,0	16,0	25,0	35,0	50,0	V_{Rk}	Hormigón no fisurado [kN]	11,0	17,4	25,3	47,1	73,1
N_{Rk}	Hormigón fisurado [kN]	6,0	9,0	16,0	25,0	30,0	V_{Rk}	Hormigón fisurado [kN]	11,0	17,4	25,3	47,1	73,1

Resistencia de cálculo N_{Rd} y V_{Rd}													
TRACCIÓN						CORTANTE							
Métrica		M8	M10	M12	M16	M20	Métrica		M8	M10	M12	M16	M20
N_{Rd}	Hormigón no fisurado [kN]	5,0	10,7	16,7	23,3	33,3	V_{Rd}	Hormigón no fisurado [kN]	8,8	13,9	20,2	37,7	58,5
N_{Rd}	Hormigón fisurado [kN]	3,3	6,0	10,7	16,7	20,0	V_{Rd}	Hormigón fisurado [kN]	8,8	13,9	20,2	37,7	58,5

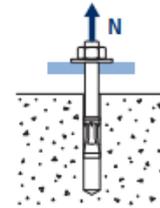
Carga máxima recomendada N_{rec} y V_{rec}													
TRACCIÓN						CORTANTE							
Métrica		M8	M10	M12	M16	M20	Métrica		M8	M10	M12	M16	M20
N_{rec}	Hormigón no fisurado [kN]	3,6	7,6	11,9	16,7	23,8	V_{rec}	Hormigón no fisurado [kN]	6,3	9,9	14,5	26,9	41,8
N_{rec}	Hormigón fisurado [kN]	2,4	4,3	7,6	11,9	14,3	V_{rec}	Hormigón fisurado [kN]	6,3	9,9	14,5	26,9	41,8

Figura 73: Resistencias de hormigón de C20/25

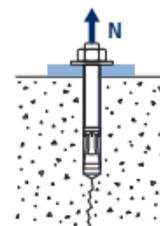
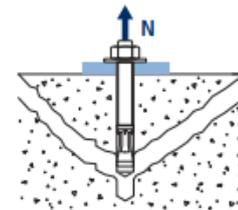
Resistencia de cálculo del acero						
$N_{Rd,s}$						
Métrica		M8	M10	M12	M16	M20
N_{Rd}	[kN]	12,1	20,9	26,9	48,5	77,7



Resistencia de cálculo por extracción						
$N_{Rd,p} = N_{Rd,p}^0 \cdot \psi_c$						
Métrica		M8	M10	M12	M16	M20
$N_{Rd,p}^0$	Hormigón no fisurado [kN]	5,0	10,7	16,7	23,3	33,3
$N_{Rd,p}^0$	Hormigón fisurado [kN]	3,3	6,0	10,7	16,7	20,0



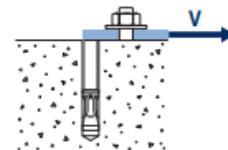
Resistencia de cálculo por cono de hormigón						
$N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^0 \cdot \psi_b \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{c,N} \cdot \psi_{re,N}$						
Resistencia de cálculo por fisuración de hormigón*						
$N_{Rd,sp} = N_{Rd,c}^0 \cdot \psi_b \cdot \psi_{s,sp} \cdot \psi_{c,sp} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{h,sp}$						
Métrica		M8	M10	M12	M16	M20
$N_{Rd,c}^0$	Hormigón no fisurado [kN]	9,3	15,6	19,7	26,4	33,7
$N_{Rd,c}^0$	Hormigón fisurado [kN]	6,7	11,2	14,1	18,8	24,0



* Resistencia por fisuración del hormigón solo debe ser considerada para hormigón no fisurado.

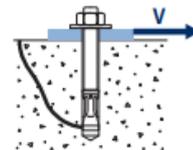
Figura 74: Cargas a tracción

Resistencia de cálculo del acero sin brazo palanca						
$V_{Rd,s}$						
Métrica		M8	M10	M12	M16	M20
$V_{Rd,s}$	[kN]	8,8	13,9	20,2	37,7	58,5



Resistencia de cálculo por desconchamiento*						
$V_{Rd,cp} = k \cdot N_{Rd,c}^0$						
Métrica		M8	M10	M12	M16	M20
k		1	2	2	2	2

* $N_{Rd,c}^0$ Resistencia de cálculo a tracción por cono de hormigón



Resistencia de cálculo por rotura del borde de hormigón						
$V_{Rd,c} = V_{Rd,c}^0 \cdot \psi_b \cdot \psi_{se,V} \cdot \psi_{c,V} \cdot \psi_{re,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{h,V}$						
Métrica		M8	M10	M12	M16	M20
$V_{Rd,c}^0$	Hormigón no fisurado [kN]	6,2	8,9	11,5	15,9	20,8
	Hormigón fisurado [kN]	4,4	6,3	8,2	11,3	14,7

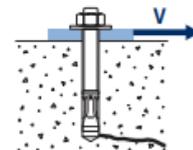


Figura 75: Cargas a cortante

En el caso de que el terreno no permita un anclaje de este tipo lo que se hará será colocar contrapesos sobre las barras inferiores de la zona trasera de la grada.

El cálculo de los pesos de estos contrapesos es el siguiente:

$$14.65 \text{ kNm} = \text{peso contrapesos} \cdot 2,7 \text{ m}; \text{peso contrapesos} = 5.43 \text{ kN}$$

Lo que si dividimos entre la fuerza de la gravedad nos da 554 kg.

Los contrapesos que se han escogido son bloques de hormigón standard 25, los cuales tienen unas medidas de 400x200x250 mm y un peso de 20 kg.



De esta forma necesitaremos 28 bloques lo que darán un peso total de 560 kg.

A los bloques que se coloquen directamente sobre las barras N1N23, N23N43 y N43N65 lo que se hará será realizar un corte cuadrado de 45 mm de lado para que pase la barra por este hueco. Los bloques que no se puedan colocar directamente sobre las barras se apilarán sobre los bloques inferiores.

Figura 76: Bloque de hormigón standard 25

2. Barandillas

Según la normativa UNE-EN 13200-3:2019 debemos colocar barreras de como mínimo 1,1 m. Estas barreras estarán colocadas en los laterales y la parte trasera de la grada.

Tipo	Cat.	Descripción del tipo de barrera	EN 1991 -1-1	Valores de las cargas aplicadas (kN/m de longitud)	Carga mínima repartida uniformemente sobre la superficie del panel de relleno kN/m ²	Alturas
A	1	Barrera delante de una fila de asientos fijos	C2	1	0,8	(véase la figura A.1)
A _{ROF} ^a	2	Barrera delante de una fila de asientos fijos con riesgo de caída	C5	2	2,0	1,1 m
B	1	Barrera adyacente a una última fila de asientos	C2	1	0,8	1,1 m
C	1	Barrera detrás de una fila trasera de asientos	C2	1	0,8	1,1 m
D	2	Barrera al pie de una vía de evacuación o en una escalera, alineada perpendicularmente con el sentido del desplazamiento	C5	2	2,0	1,1 m
D _{ROF} ^b	2	Barrera al pie de una vía de evacuación o en una escalera, alineada perpendicularmente con el sentido del desplazamiento con riesgo de caída y un ángulo de pendiente $22^\circ < \alpha < 35^\circ$	C5	3	2,0	1,1 m + R ^c
E	2	Barrera lateral, alineada paralelamente con el sentido de desplazamiento de los espectadores	C5	2	2,0	1,1 m

a En caso de diferencia de altura $H > 500$ mm entre la primera fila y el suelo situado debajo con riesgo de caída (véase la figura A.2).

b En caso de diferencia de altura $H > 500$ mm entre la primera fila y el suelo situado debajo con riesgo de caída y un ángulo de pendiente $22^\circ < \alpha < 35^\circ$ (véase el anexo D).

c Si la distancia entre la barrera y el primer escalón es < 700 mm, se debe aumentar la altura de D_{ROF} de la altura del escalón.

Tabla 4: Cargas horizontales aplicadas a las barreras en localidades de asiento

Fijándonos en la anterior tabla nuestras barreras laterales serían de la categoría B y las barreras traseras de la categoría C.

Ambas categorías tienen un valor de cargas aplicadas de 1 kN/m y una altura de 1,1 m como dijimos anteriormente. Además de en la tabla en el texto de la norma se nos indica que las barreras perimetrales deben soportar una carga de 1 kN/m para una altura menor a los 2,5 m, lo cual coincide con el valor de la tabla.

La norma también nos indica que las superficies superiores de las barandillas deben ser diseñadas de tal forma para que los espectadores no puedan trepar ni colocarse encima de ellas. Atendiendo a esto se procurará realizarlas con perfiles de pequeñas dimensiones (perfil cuadrado de 40x5 mm), ya que se entiende que una persona no puede subirse en una barandilla de 4 cm de grosor.

Se ha estudiado en CYPE 3D la barrera que se colocará en la parte trasera en el módulo de asientos por ser la más desfavorable, tanto en dimensiones como en cargas, debido a que será la más larga y los esfuerzos recibidos serán ligeramente superiores en las barreras traseras que

en las laterales debido a que la sobrecarga de uso horizontal es un poco superior en ese sentido.



Figura 77: Barrera trasera del módulo de asiento en CYPE 3D

Esta barrera se realizará con perfil cuadrado 40x5 m para las pilastras y barandales, y dieciséis balaustres de redondo macizo de 20 mm.

La norma UNE-EN 13200-3:2019 que hemos seguido para el diseño de estas barandillas nos dice que todas las barreras deberían ser capaces de soportar cargas de ensayo equivalentes a 1,2 veces las cargas horizontales aplicadas indicadas en las tablas, por lo tanto, en CYPE 3D indicaremos 1,2 kN/m en vez de 1 kN/m.

Estas cargas que se han especificado en la tabla 4 dice la norma que se deben considerar a nivel de diseño como cargas sin factor o como cargas características, por lo que en CYPE 3D configuraremos las combinaciones de cargas para que se cumpla esto.

A esta carga además se le añadirá la sobrecarga de uso horizontal de 0,06 kN/m que calculamos en el capítulo 2.2 del anexo I, por lo tanto, la carga final que se aplicará a una altura de 1,1 m, tal y como especifica la normativa, será de **1,26 kN/m**.

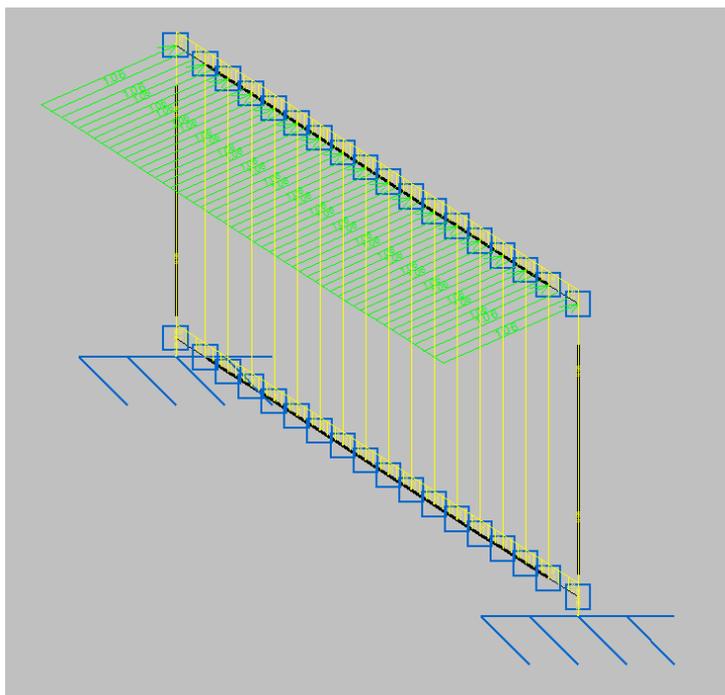


Figura 78: Cargas sobre la barandilla

El procedimiento realizado en CYPE 3D fue similar al realizado en el resto de la estructura, se introdujeron los nudos y las barras, se realizaron las uniones que se pueden apreciar en la figura 74, se establecieron los valores de pandeo, pandeo lateral y flecha límite, se añadieron las cargas y se realizó el cálculo de la estructura.

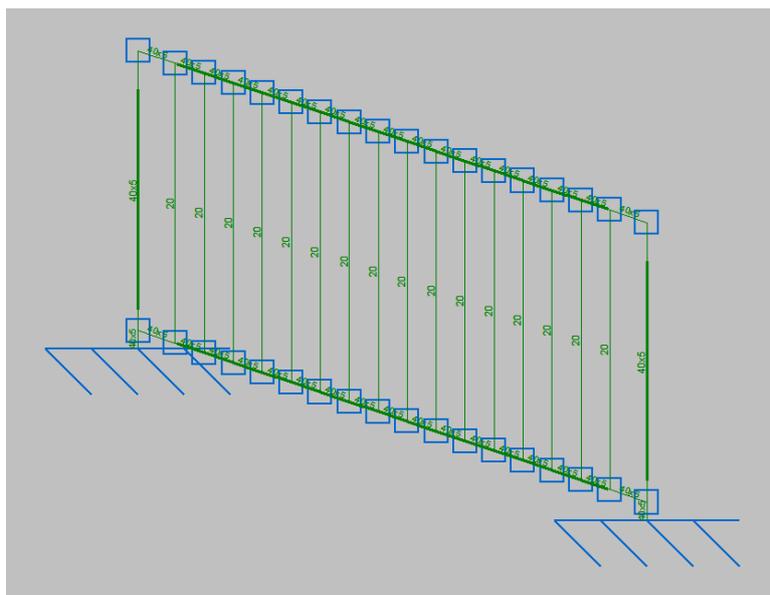


Figura 79: Comprobación de los elementos de la barandilla

Después de probar con varios perfiles, se llegó a la solución final que ya explicamos con anterioridad de perfiles cuadrados 40x40x5 y perfiles redondos macizos de diámetro 20.

Todos los perfiles cumplen con la resistencia y la flecha límite.

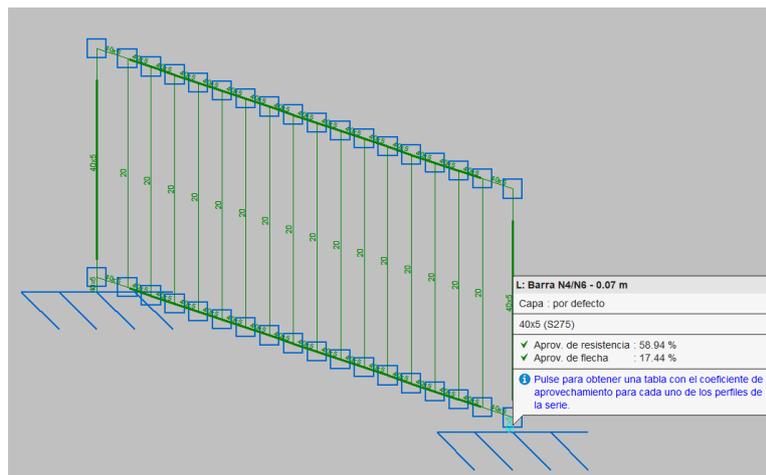


Figura 80: Zona más solicitada de la barandilla

La parte más solicitada de nuestra barrera son las zonas inferiores de las pilastras, con un valor de 58,94% de aprovechamiento de resistencia, por lo que tienen todavía bastante margen de resistencia, las cuales se introducirán en perfiles cuadrados 50x4, los cuales tendrán una longitud de 55 mm y estarán tapados con chapa de 5 mm en el fondo para soportar las barreras, y que estarán colocados sobre las ménsulas que se realizaron en las estructuras laterales para el caso de las barreras que se coloquen en la parte trasera, y soldados en los lados de las estructuras laterales para soportar las barreras laterales tal y como se verá en el apartado de planos.

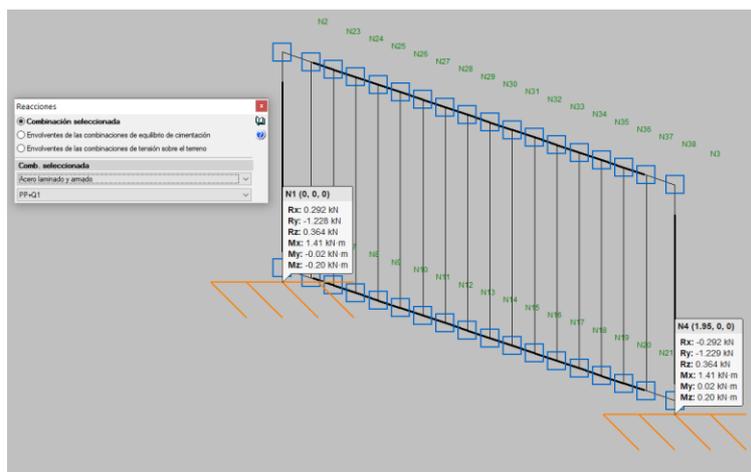


Figura 81: Reacciones en los apoyos de la barandilla

Las cargas que tendrán que soportar estos soportes son los que se pueden apreciar en la anterior captura de pantalla, y que se consideran asumibles por no ser valores demasiado altos.

También se analizó la deformación que se producía en la situación más desfavorable como podemos ver en la siguiente figura.

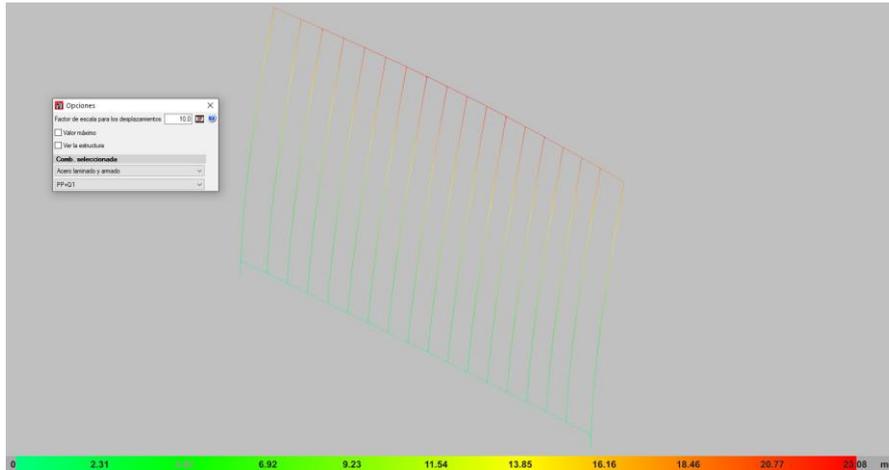


Figura 82: Deformación ante la carga más desfavorable de la barandilla

La deformación máxima se da, como era de esperar en la parte superior de la barandilla, y también se aprecia que se deforma un poco más en la zona central que en los laterales haciendo un pequeño arco, como era también esperable, alcanzando los 23,08 mm en el punto más desfavorable. Esta deformación en la realidad probablemente sea menor debido a que se colocarán soportes en los lados de la barandilla con la idea de que no se puedan extraer las barreras de la zona trasera.

Los planos de esta barandilla y del resto, así como su despiece, están en el anexo dedicado a los planos. En estos planos podemos observar como la tipología de las barreras laterales cambia un poco respecto de las traseras, teniendo una de las pilastras cortadas y colocando un perfil horizontal debajo. Esto es para que esta pieza descansa sobre la barrera que se encuentra debajo impidiendo que no se pueda extraer hacia arriba si no se quita la primera.

En el caso de las barreras traseras el método que se ha escogido para que no se puedan extraer las barreras hacia arriba es colocar en el lado izquierdo de las barreras un gancho y en el lado derecho un tubo, de los cuales tenemos detalles en los planos del siguiente anexo, de tal forma que siguiendo esta metodología no se pueden extraer ninguna de las barreras traseras. La barrera superior de las barreras laterales seguirá esta serie de tal forma que la barrera de la izquierda tendrá en su lado derecho un tubo para que se pueda enganchar por su lado izquierdo con su gancho la barrera trasera que se sitúe más a la izquierda, y la barrera superior del lateral derecho tendrá en su lado izquierdo un gancho que se introducirá en el tubo situado en el lado derecho de la barrera trasera situada más a la derecha.

De esta forma tan solo habría una barrera que se podría extraer, por ejemplo, por un espectador, tirando hacia arriba, que sería la barrera superior del lateral derecho, y la cual se anclará en el soporte con una pieza pasante a través de la pilastra y del soporte.

3. Uniones

Las uniones que se realizarán entre las barras que componen las estructuras laterales serán mediante soldadura, salvo en el caso de la unión de la estructura lateral con las bases regulables, las cuales se introducirán in situ en el proceso de montaje, aprovechando para ajustar la altura si es necesario, simplemente introduciendo el husillo de las bases regulables en el interior de los tubos que hacen de pilares en la estructura lateral.

Las uniones de las barandillas con el resto de la estructura se realizarán, como ya se explicó en el anterior capítulo, introduciendo las pilastras en soportes tubulares que estarán soldados a las estructuras laterales.

Las barras de soporte, tanto de las plataformas como de las escaleras, se encontrarán soldadas a las chapas, para que formen plataformas, y peldaños de escaleras autoportantes, los cuales se anclarán a las estructuras laterales mediante patillas que se introducirán en los perfiles en U superiores de las estructuras laterales de la misma forma que se realiza en andamios.

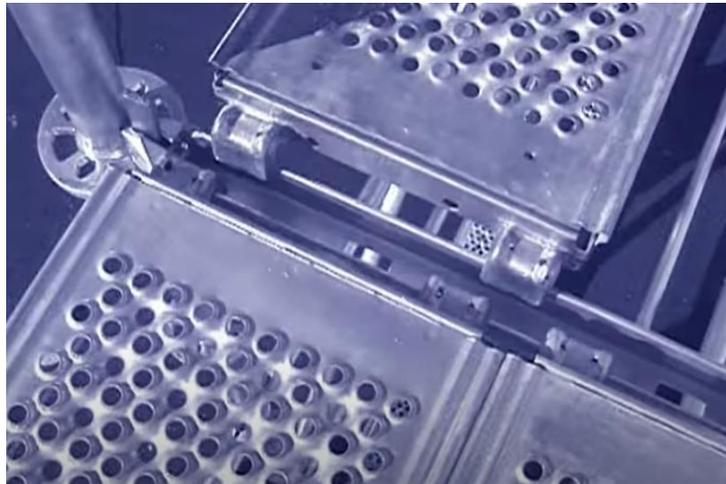


Figura 83: Tipo de anclaje utilizado en las plataformas y escaleras

Para introducir las patillas de las chapas que se colocan debajo de los asientos, ya que encima irá colocada una plataforma con los asientos, se les ha realizado a las plataformas un agujero para que pueda pasar por ahí la patilla de la chapa de debajo de los asientos, tal y como se verá en los planos.

Para las barras de unión de las estructuras laterales situadas en la parte trasera y debajo de la grada para la sujeción de las chapas de debajo de los asientos se ha utilizado el sistema de cuñas y rosetas por su rapidez en el montaje y su fiabilidad, adaptándose este sistema habitual a perfiles circulares a los perfiles cuadrados de nuestra grada.



Figura 84: Sistema de cuñas y rosetas

La unión de los asientos a las plataformas se especificará en el capítulo dedicado a los mismos.

4. Embellecedores

Para ocultar los anclajes explicados en el anterior capítulo entre las plataformas y escaleras, y los perfiles en U de las estructuras laterales se realizarán embellecedores, de los cuales tenemos planos en el anexo dedicados a los mismos, con una triple función.

La primera utilidad de estas piezas es evitar que se puedan extraer fácilmente las plataformas o escaleras, ya que previamente habría que retirar estos embellecedores, por lo que sería un motivo de seguridad.

El segundo motivo también se debe a la seguridad, ya que estos embellecedores en la parte frontal tendrán una tapa que servirá para ocultar la sección de los perfiles en U.

Por último, cumplen también con una función meramente estética.

5. Lluvia

Atendiendo a la normativa UNE-EN 13200-1:2019 se ha realizado la grada pensando en el drenaje del agua por lluvia, ya que se han realizado tanto las plataformas que soportan los asientos como las escaleras con chapas perforadas para que el agua pase por estos agujeros.

Los asientos de la misma forma tienen un agujero en la base del asiento para drenar el agua de lluvia que de otra manera, por la forma del asiento se podría quedar estancada en los mismos.

Esto además de solucionar el problema de la lluvia también es de utilidad en las tareas de limpieza de la grada.

6. Asientos

Los asientos escogidos para nuestra grada son los asientos CR2, realizados con polipropileno copolímero, y elegibles en diferentes colores, debido a su compatibilidad con gradas desmontables, ya que sus medidas de 42x40x28 cm entran dentro de los valores que recoge la normativa UNE-EN 13200-1:2019.



Figura 85: Asiento CR2

Estos asientos se colocarán encima de las plataformas con las distancias que se especifican en los planos, evitando su movimiento horizontal por el saliente que dispone el cual hará tope con la barra que forma el voladizo de las plataformas y por la pieza pasante que viene con los asientos.

Para evitar la extracción de los asientos hacia arriba se soldará a esta pieza pasante un tubo roscado sobre el que se introducirá una varilla roscada que termine en forma de T, con la



idea que, en la chapa, a la cual se le puede añadir si es necesario una pletina de refuerzo, se le realice una hendidura por donde pase esta pieza, y una vez que pase se gire este cabezal en forma de T evitando que el asiento se pueda sacar involuntariamente.

Este anclaje durante el uso normal por parte de los espectadores no se puede girar haciendo que el asiento se pueda salir, ya que estarán colocadas las chapas de debajo de los asientos que evitan su manipulación. De la misma forma a la hora de realizar el montaje, los asientos se deberán anclar a las plataformas previamente a la colocación de las plataformas, tal y como se especificará en el capítulo siguiente.

7. Montaje y desmontaje

El primer paso en el proceso de montaje será escoger un emplazamiento donde se pueda colocar la grada con seguridad.

El montaje comenzará anclando los asientos a las plataformas utilizando el método de anclaje que se explicó en el anterior capítulo.

Una vez que están montados todos los asientos en sus respectivas plataformas se procederá a empezar con el montaje de la estructura de sustentación de estas plataformas, es decir las estructuras laterales y las barras de unión de estas.

Lo que se hará será colocar las estructuras laterales sobre las bases regulables, las cuales se ajustarán en función de las imperfecciones del terreno. Cuando tengamos dos estructuras laterales se colocarán las barras de unión haciendo uso del sistema de cuñas y rosetas para dar estabilidad a la estructura mientras se monta y que no sea ya necesario sujetar las estructuras laterales. Este sistema de cuñas y rosetas funciona de tal forma que el técnico debe levantar la cuña y una vez que la barra se coloca en la posición adecuada se deja caer la cuña dentro de uno de los agujeros de la roseta. Si fuese necesario se podría asegurar la unión con un golpe de martillo.

En este momento se irán colocando las chapas de debajo de los asientos y a continuación la plataforma con los asientos montados encima.

Cuando tengamos la primera fila realizada el técnico se subirá encima de la plataforma de esta primera fila para proceder con la segunda fila, y así sucesivamente.

Una vez que tengamos un módulo montado podremos colocar otra estructura lateral a uno de los lados, de tal forma que, si están dos operarios realizando el montaje, cada uno de ellos puede ir montando uno de los módulos después del montaje del primero en el cual si que se recomienda la colaboración de ambos técnicos.

El montaje del módulo de escaleras es similar al de los asientos, colocando las patillas de los peldaños en el interior de los perfiles en U de las estructuras laterales, y colocando en primer lugar los peldaños inferiores, para después subir sobre estos para colocar los siguientes, y en última instancia la última fila de asientos.

El siguiente paso será colocar las barandillas, comenzando por las del lateral izquierdo (viendo la grada de frente), colocando primero la barandilla inferior y después la inmediatamente superior, ya que como se explicó en el capítulo dedicado a las barreras, las barandillas en los laterales apoyan unas sobre otras. Después de montarán las barandillas traseras,



introduciendo tanto las pilastras en los soportes como los ganchos en el tubo de la barandilla de la izquierda, por lo tanto, se colocarán las barandillas de izquierda a derecha. En cuanto llegamos al lateral derecho, empezamos de nuevo por debajo como en el lateral izquierdo ya que la única barandilla que se puede extraer hacia arriba es la superior. Esta última barrera se anclará haciendo pasar una pieza pasante por la pilastra y el soporte de esta.

Por último, se procederá a colocar los embellecedores sobre los perfiles en U.

El proceso de desmontaje, tal y como recomienda la norma UNE-EN 13200-6:2013, se realizará de forma inversa al proceso de montaje por un tema de seguridad.

Como durante su utilización se pueden producir algunos deterioros en elementos de la estructura, se deberán marcar estos elementos para ser fácilmente identificables en el desmontaje. Durante el desmontaje el propietario de la grada debe examinar todos los elementos, identificando posibles puntos de desgaste, deformación o deterioro, para después apartar estos elementos y ser reparados o sustituidos por otros.

8. Transporte

El transporte se ha realizado pensando en el camión de tres ejes que dispone HDS metálicas, el cual tiene una anchura de 2,44 m y un largo de 7 m, pero se podría realizar en camiones de menores dimensiones que permitan el almacenaje de los elementos de la grada. Las estructuras laterales se colocarán obviamente con el lado de 2,7 m en la dirección del largo del remolque, ya que, sino no cabrían, y se colocarán una encima de otra.

En el resto espacio se colocarán las barandillas unas encima de otras, dejando eso si a un lado del remolque, tanto en la zona donde se colocan las estructuras laterales como las barandillas, un espacio para colocar las barras y las plataformas.

Las escaleras y los asientos están diseñados para que se puedan apilar ocupando menos espacio.

Realmente no encontramos grandes problemas en el transporte debido a que el grosor de la mayoría de estas piezas es muy pequeño, y aunque puedan ocupar espacio longitudinalmente se pueden apilar ya que teniendo en cuenta que el mayor perfil mide 4 cm, en la altura del remolque del camión se pueden colocar muchos elementos unos encima de otros. Además, el peso tampoco es problema, incluso si se realizase la configuración para cien espectadores.

9. Configuraciones de la grada

Las distintas configuraciones que se pueden realizar son altísimas combinando los módulos de asientos y escaleras y el único requisito que se debe tener en cuenta en estas combinaciones es que según la norma UNE-EN 13200-1:2019 no se pueden realizar filas de más de 40 asientos en instalaciones de exterior y más de 28 asientos en instalaciones de interior si estas filas tienen acceso a dos pasillos, y en el caso de que la fila tenga acceso a un solo pasillo estos valores se dividirán por dos.

Es decir que teniendo en cuenta que cada módulo de asientos tiene filas de 4 asientos se podrían colocar en la situación más desfavorable, es decir en una instalación en interior y formando una fila con acceso a un único pasillo que en nuestro caso será el módulo de escaleras, tres módulos de asientos seguidos.

Como inicialmente se construirán módulos para albergar a un máximo de cien espectadores este problema se puede solucionar colocando en todas las configuraciones el módulo de escaleras en el centro (tres módulos de asientos + un módulo de escaleras + tres módulos de asientos dan 98 localidades).

10. Visión

En este capítulo se estudiará la distancia mínima a la que se debe colocar la grada del punto más cercano de enfoque, ya sea un terreno de juego, una persona que esté realizando un espectáculo, etc, para que cualquier espectador pueda ver con claridad cualquier punto del espectáculo.

Para ello acudimos a la norma UNE-EN 13200-1:2019 donde se nos explica que nuestra grada debe respetar el valor mínimo de la distancia horizontal D entre los ojos de un espectador situado a una altura A y el punto más cercano de enfoque P a lo largo de la línea de visión, como resultado de la interpretación geométrica y de la forma de cálculo siguiente: [3]

$$D = \frac{a \cdot B}{C - V}$$

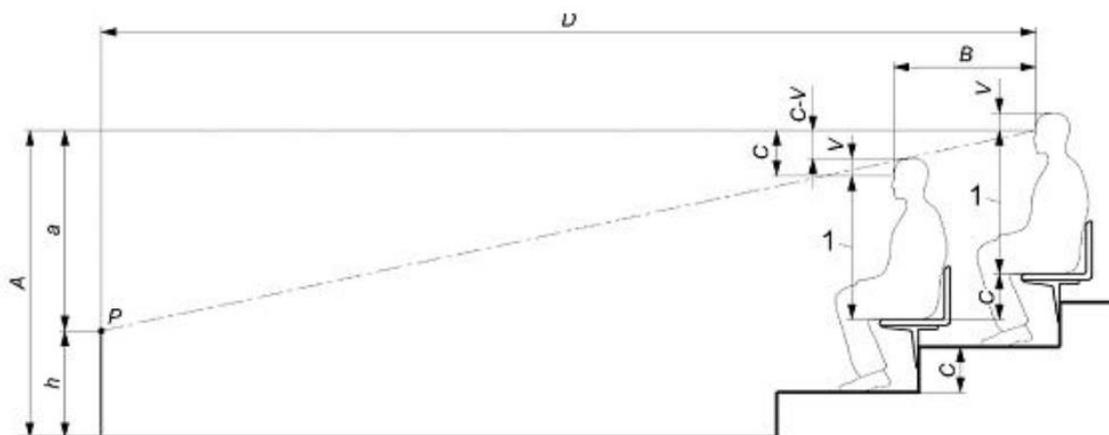


Figura 86: Parámetros para el cálculo de la fórmula para las plazas de asiento

donde A es la altura de los ojos, que en el caso del último espectador de nuestra grada serán los 1,6 m que mide la grada más 800 mm, son 2,4 m, considerando que el punto P está en el suelo. B es la distancia desde un espectador hasta el espectador situado detrás, lo que en nuestro caso son 800 mm. C es la dimensión de la contrahuella del escalón que en nuestro caso son 400 mm. h es la altura del punto de interés P que, en el caso más desfavorable, es decir el que vamos a considerar, se encuentra en el suelo y por lo tanto está a 0 m. D es la distancia horizontal entre los ojos del espectador situado a la altura A y el punto de enfoque más cercano P . P es el punto de enfoque más cercano a lo largo de la línea de visión. V es la distancia vertical desde los ojos de un espectador hasta la parte superior de la cabeza que se tomará el valor de 120 mm recomendado por la normativa. 1 es la distancia desde los ojos de un espectador sentado y su plano de asiento que se toma como 800 mm. a es la diferencia entre la altura de los ojos y la altura del punto de interés, que como vemos en la anterior figura al valer h 0 m, es igual a A .

Con esto ya podemos calcular el valor de D :



$$D = \frac{a \cdot B}{C - V} = \frac{2,4 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m}}{0,4 \text{ m} - 0,12 \text{ m}} = 6,86 \text{ m}$$

Considerando que esta distancia D es respecto del espectador situado en la última fila, y que desde los ojos de este espectador hasta el comienzo de la grada hay 2,43 m (considerando los ojos del espectador a la altura del comienzo del asiento), la grada se deberá situar a una distancia respecto del punto de enfoque P más cercano de $6,86 - 2,43 = 4,43 \text{ m}$.

Se debe tener en cuenta que esta es la situación más desfavorable por lo que si el espectáculo se realiza a una cierta altura esta distancia podría ser menor.

11. Responsabilidades

La norma UNE-EN 13200-6:2013 indica que el organizador tiene la responsabilidad de garantizar que utiliza a técnicos competentes para montar, inspeccionar y desmontar la grada. Además, este organizador debe proponer al contratista que alquila la grada una especificación técnica escrita de los requisitos, concretamente, el lugar del evento y situación de la grada en el emplazamiento, el tipo de acontecimiento y tipo de público, la planificación para la entrega de la grada, el tipo de asientos requeridos sobre la estructura, el acceso al lugar y las condiciones del servicio técnico. También el organizador es responsable de que se respete toda la reglamentación relativa a la utilización de la grada.[1]

En el caso del fabricante, este tiene la responsabilidad sobre el diseño y el montaje de la grada, así como la elección de un emplazamiento seguro, y de la misma forma que antes el montaje y desmontaje se realizará en su caso por técnicos competentes. También se debe encargar de poner a disposición del cliente los cálculos y los planos de diseño, así como el control independiente del proyecto, y un ejemplar completo de la documentación de montaje. También es el responsable de que se respeten los códigos de buena práctica aplicables en el diseño.

En el momento en el que se cede la grada, el cliente pasa a tener la responsabilidad de su gestión, antes y durante su utilización. Además, el cliente también tiene la responsabilidad de la adquisición y la utilización de una grada desmontable, además de la planificación, gestión y vigilancia del acontecimiento para el que se requiere la grada, escogiendo la grada adecuada a la utilización prevista.

Las actuaciones de inspección deberán registrarse, señalándose específicamente las medidas correctivas que se han realizado y las fechas en las que se ha acordado llevar a cabo las correcciones.

Esta grada debe proporcionar niveles de seguridad en todos los aspectos idénticos a una grada fija. El diseño de esta grada debe verificarse de forma independiente por un ingeniero colegiado con la experiencia y aptitudes adecuadas.[1]

En el caso de esta grada la evaluación del riesgo de incendio no se realiza debido a que está construida por materiales que no son inflamables y la evacuación de la misma se realiza rápidamente.



DOCUMENTO Nº5

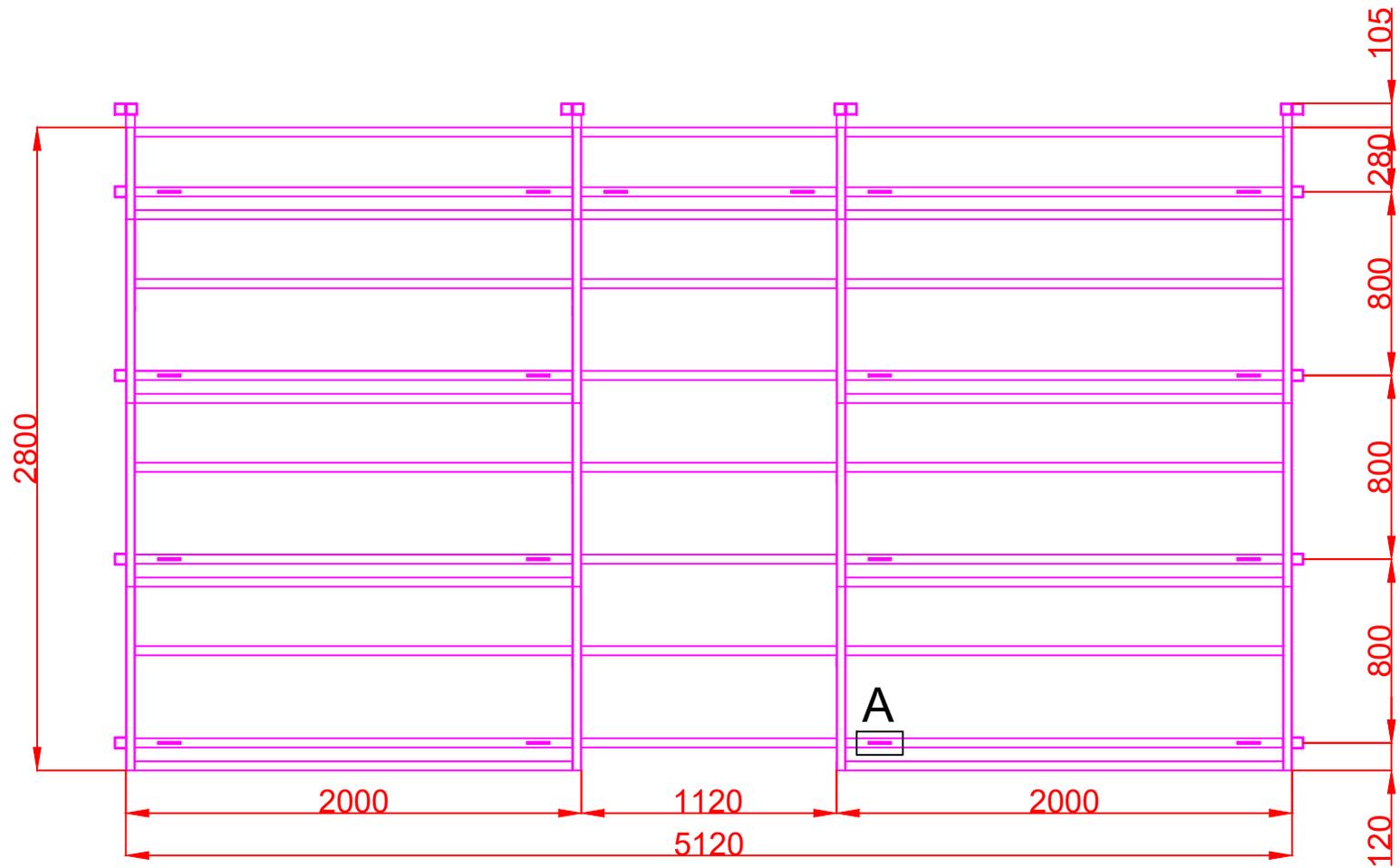
ANEXO IV

PLANOS

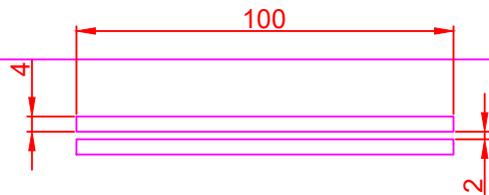
Autor: Rubén Cabrejas Merino

Director: Jesús Cuartero Salafranca

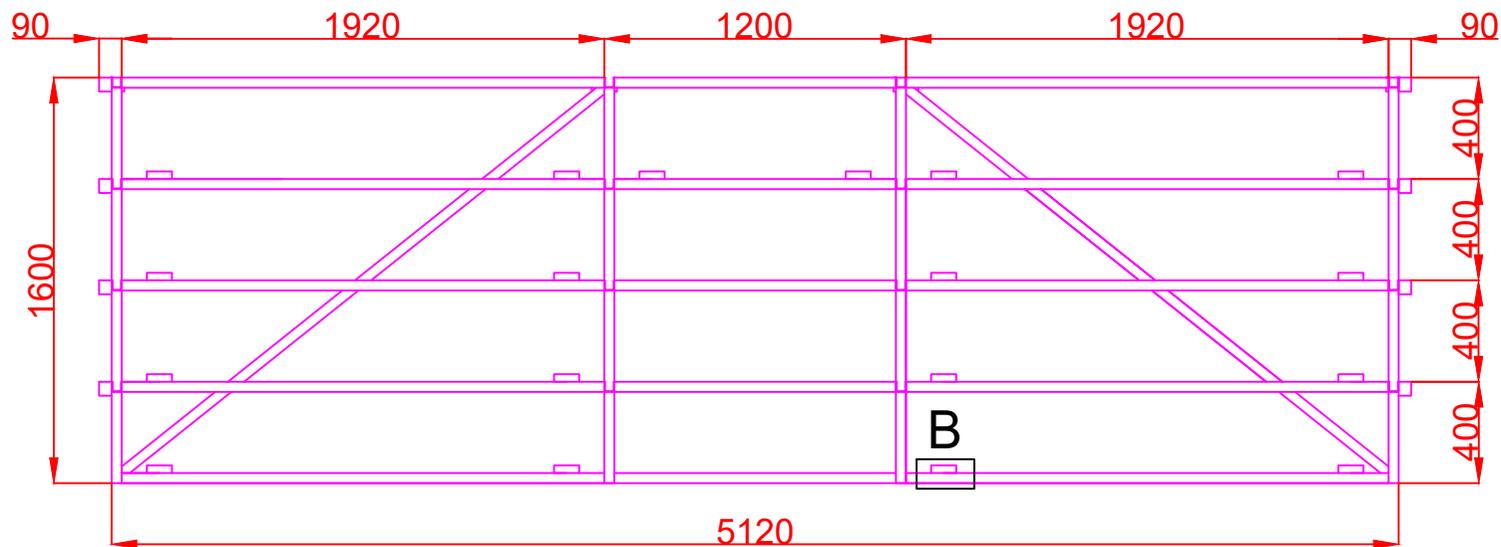
Noviembre de 2020



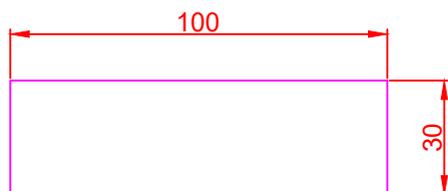
**DETALLE A
ESCALA 1:2**



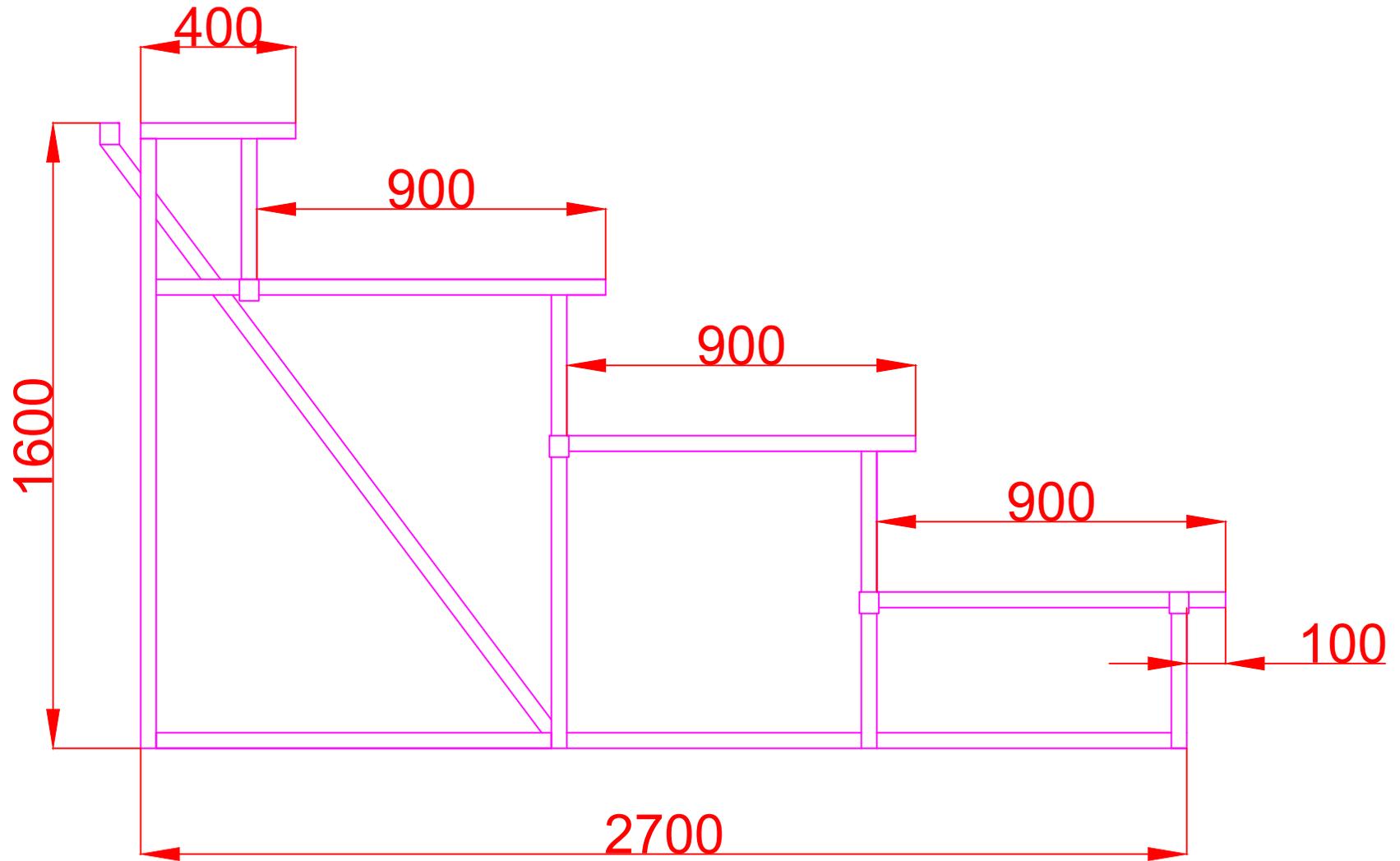
TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	01
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:30	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	PLANTA. ESTRUCTURA	



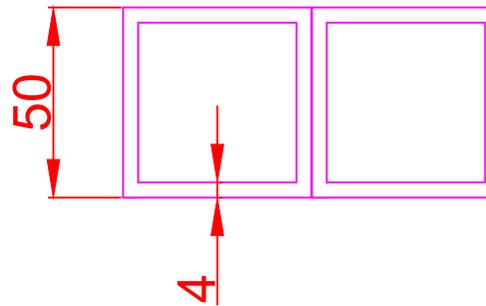
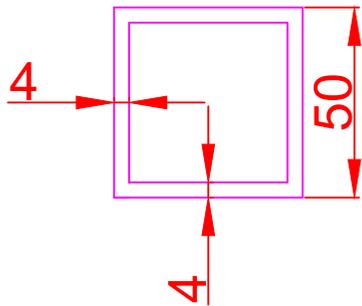
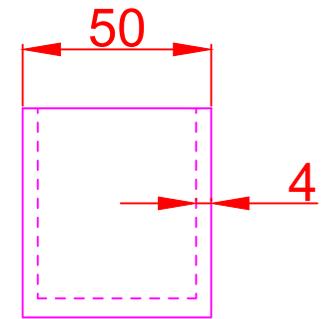
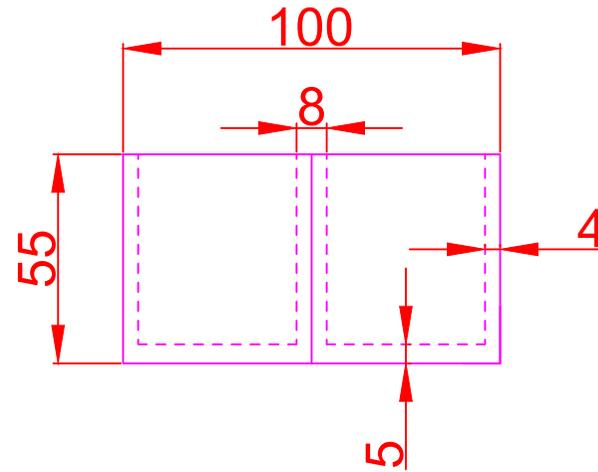
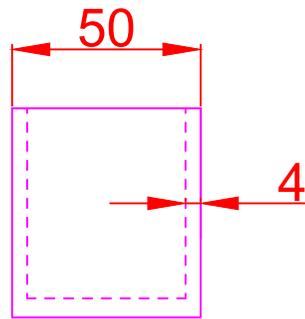
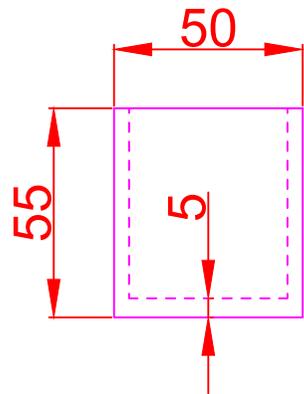
DETALLE B
ESCALA 1:2



TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	02
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:30	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	ALZADO. ESTRUCTURA	

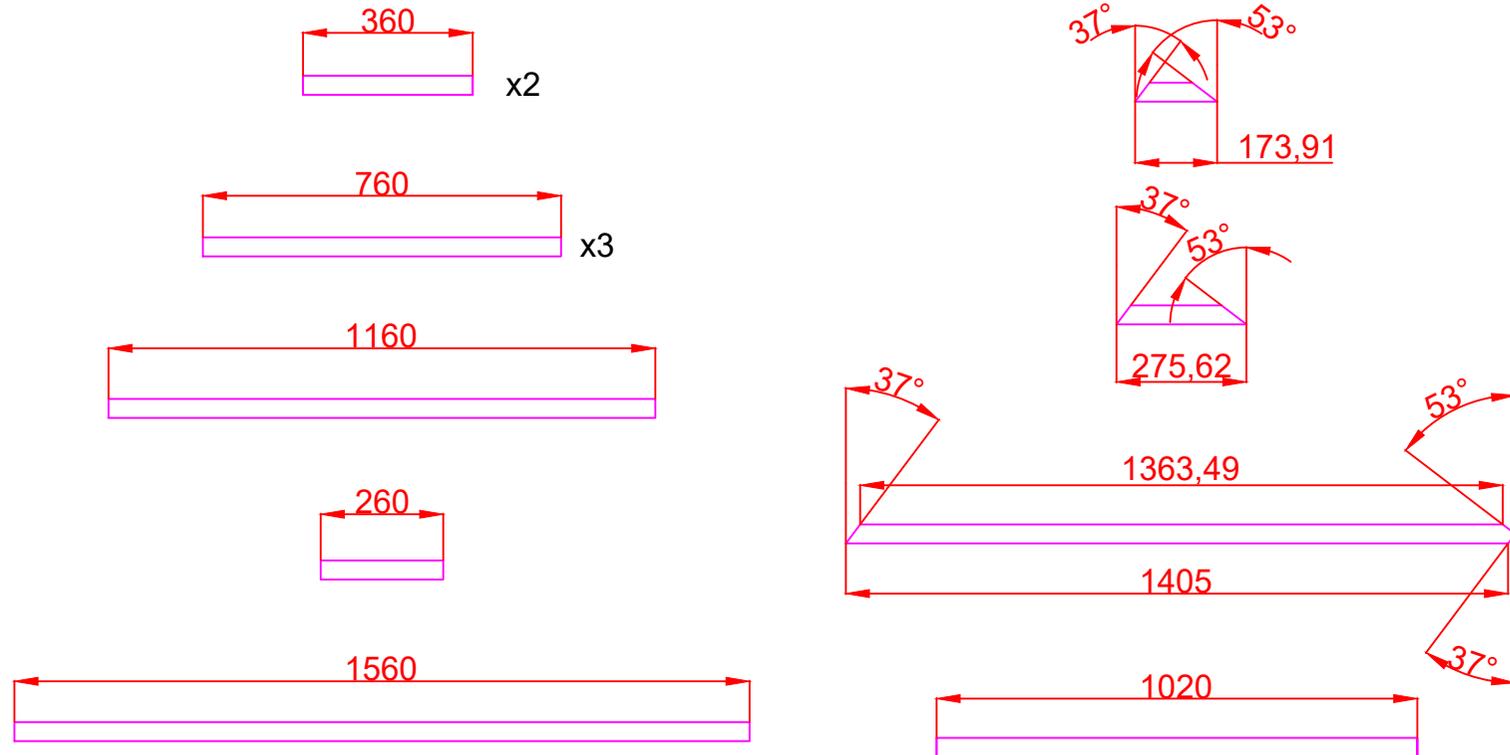


TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	03
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:16	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	PERFIL. ESTRUCTURA	

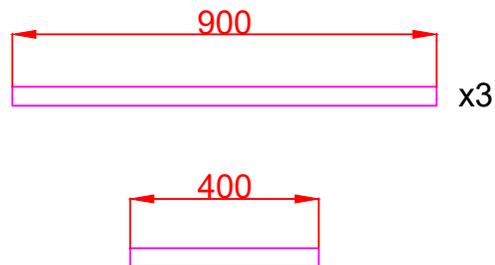


TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	04
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:2	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	SOPORTES BARANDILLAS	

40x40x3



ULF 40x40x40x3



TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	05
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:16	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	DESPIECE DE UN SOPORTE LATERAL	



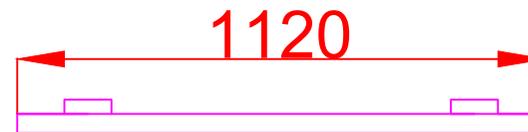
x8 cada módulo
de asientos



x4 cada módulo
de asientos

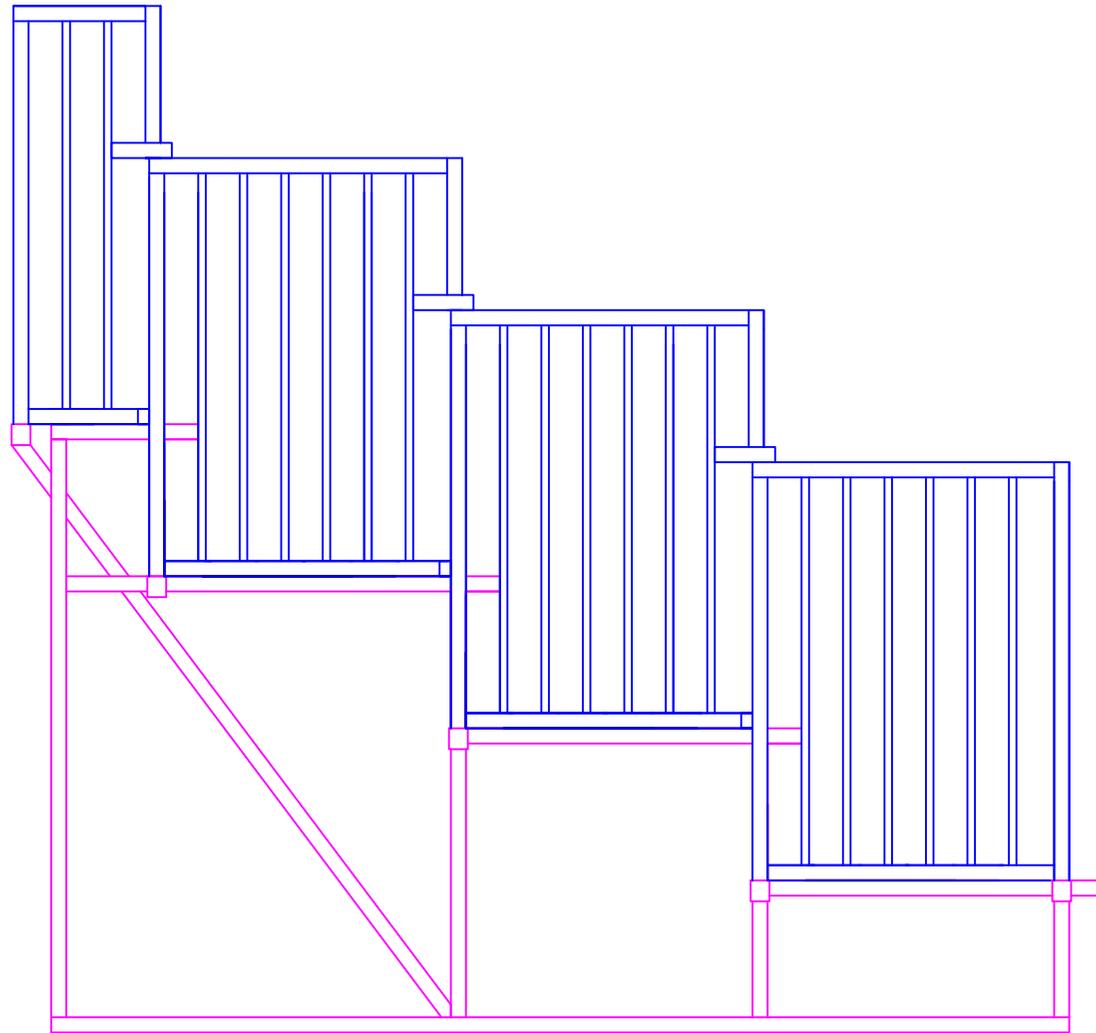


x7 cada módulo
de escaleras

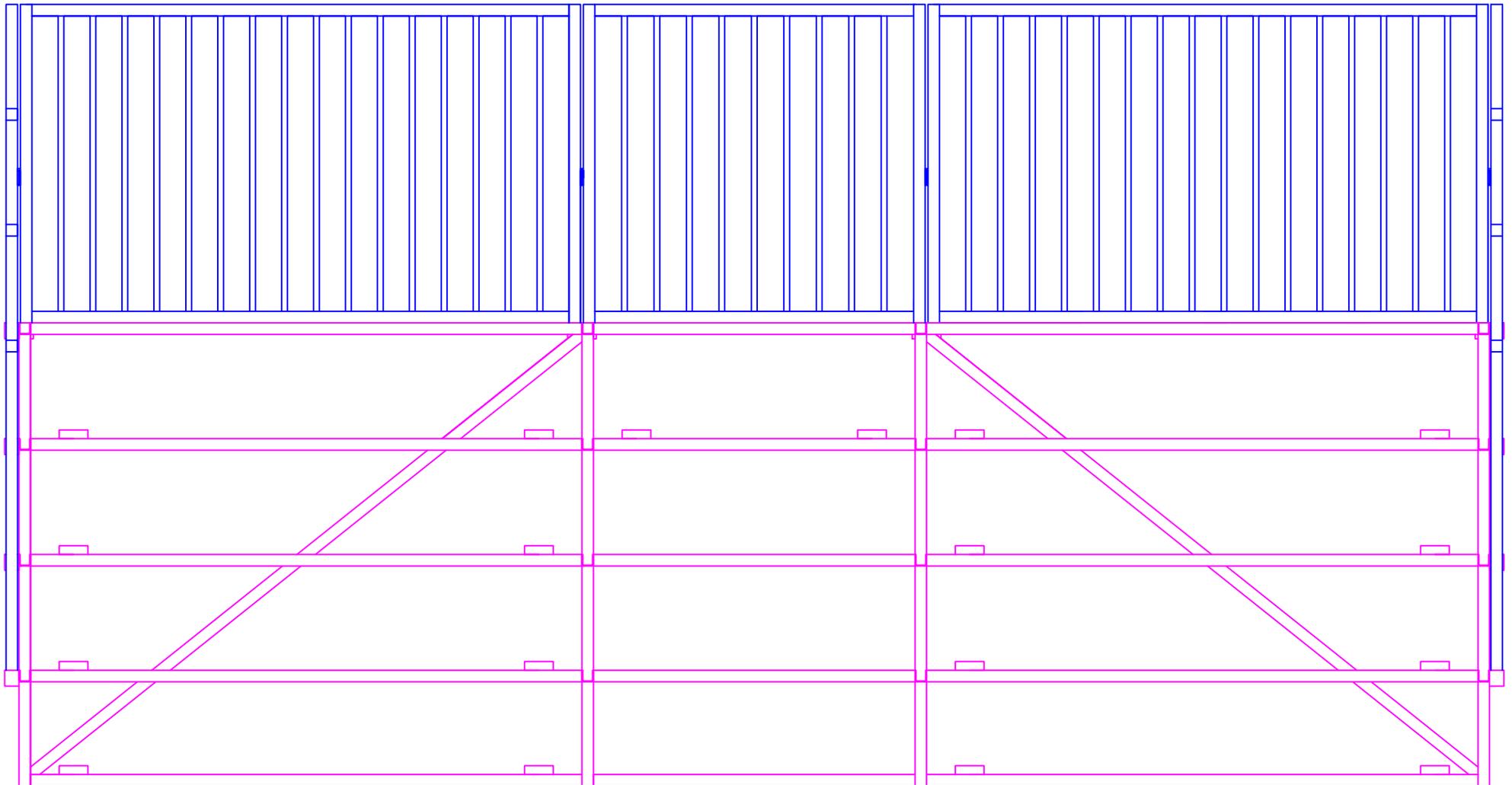


x1 cada módulo
de escaleras

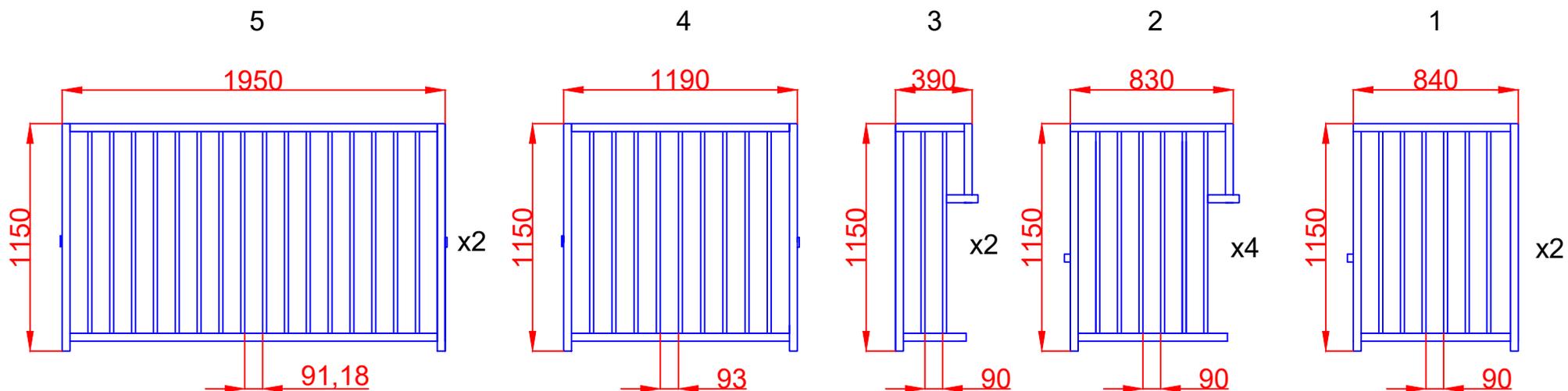
TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	06
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:16	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	DESPIECE DE UN MÓDULO DE ASIENTOS Y ESCALERAS	



TÍTULO	GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°	07
PROPIETARIO	RUBÉN CABREJAS MERINO	FIRMA	
FORMATO	A4		
ESCALA	1:20	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	PERFIL CON BARANDILLAS	

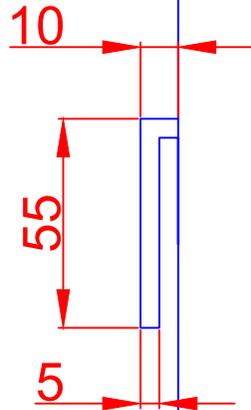


TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	08
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:20	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	ALZADO CON BARANDILLAS	

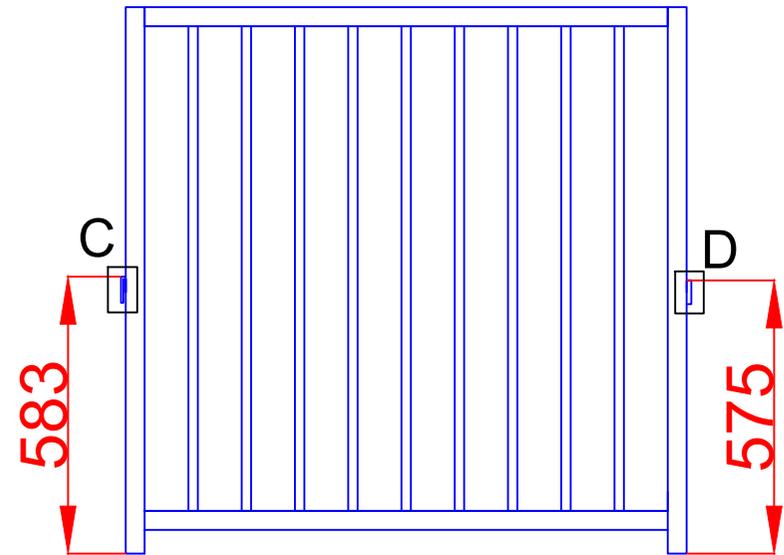
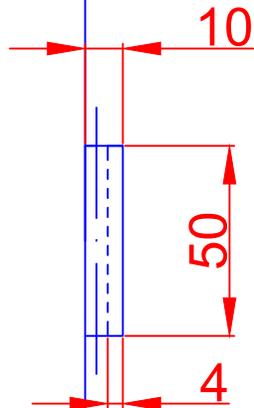


TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	09
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:30	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	BARANDILLAS	

DETALLE C
ESCALA 1:2

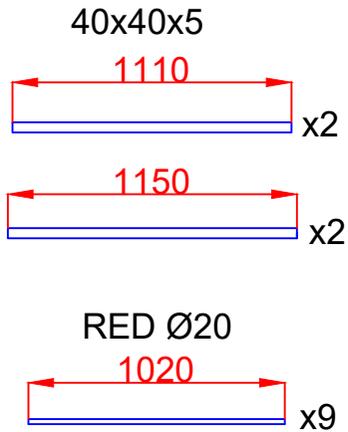


DETALLE D
ESCALA 1:2

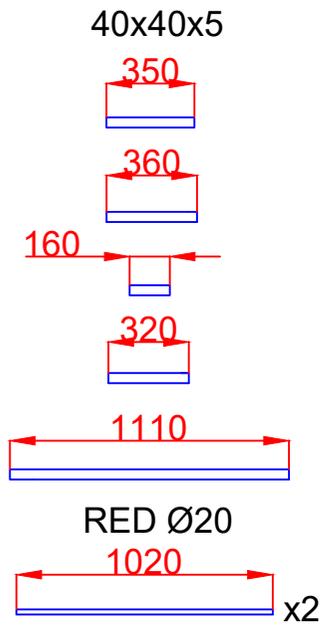


TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	10
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:16	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	ANCLAJE DE BARANDILLAS TRASERAS	

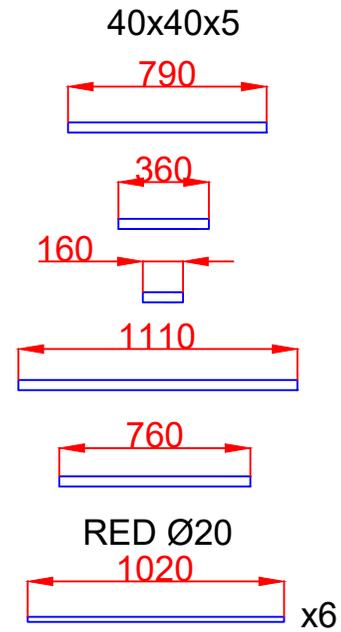
BARANDILLA 4



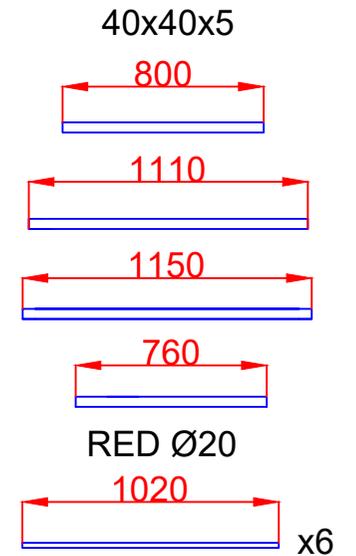
BARANDILLA 3



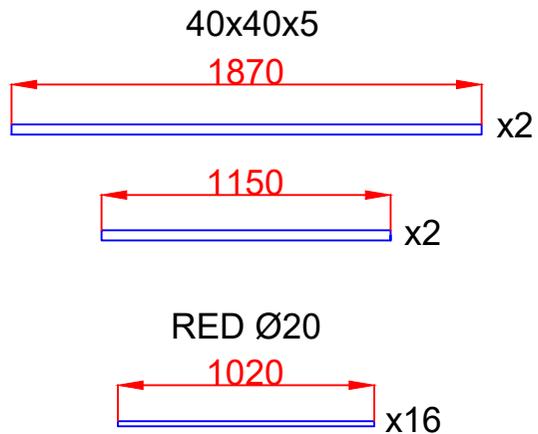
BARANDILLA 2



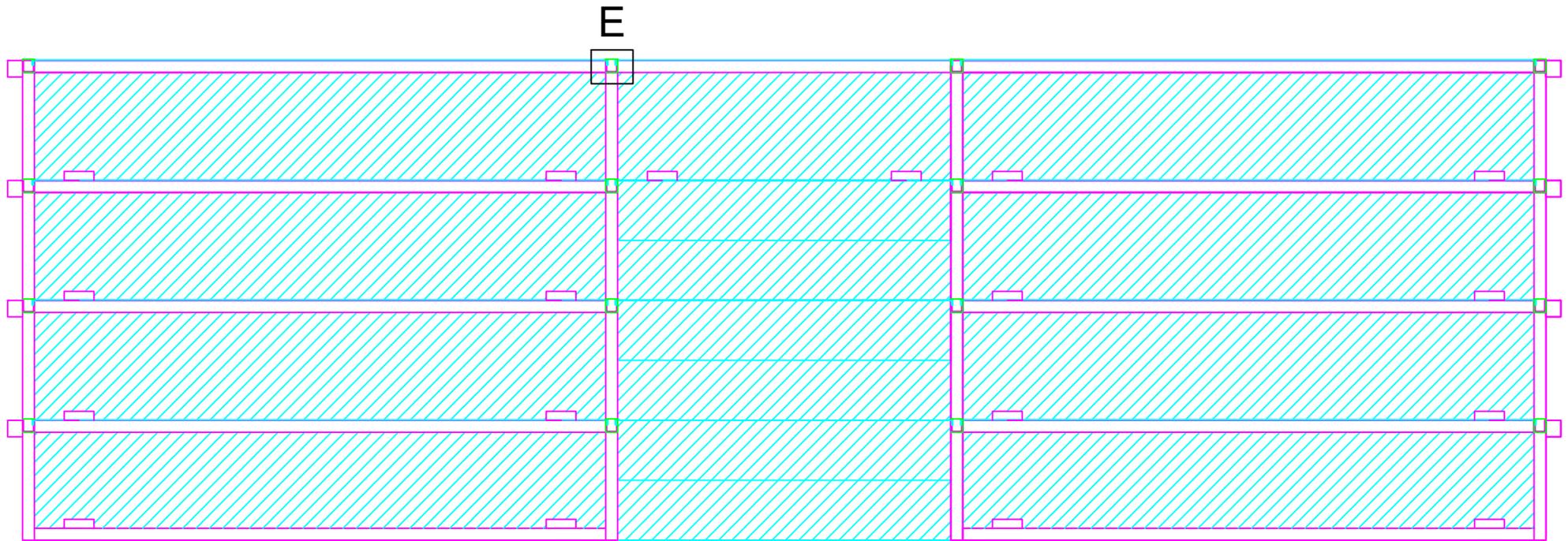
BARANDILLA 1



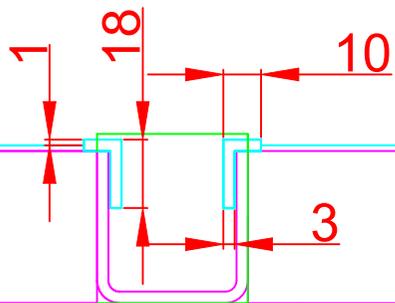
BARANDILLA 5



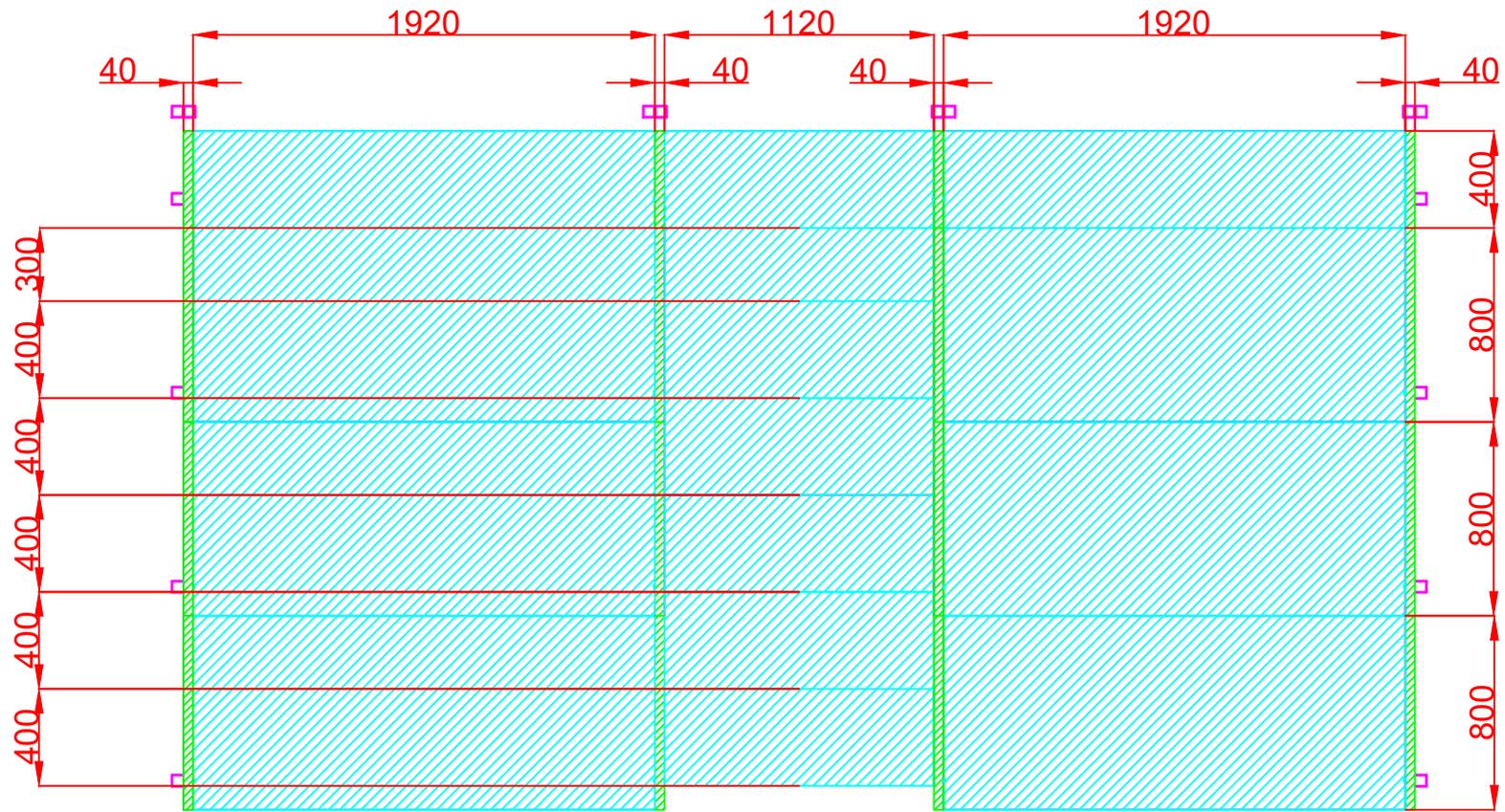
TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	11
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:30	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	DESPIECE. BARANDILLAS	



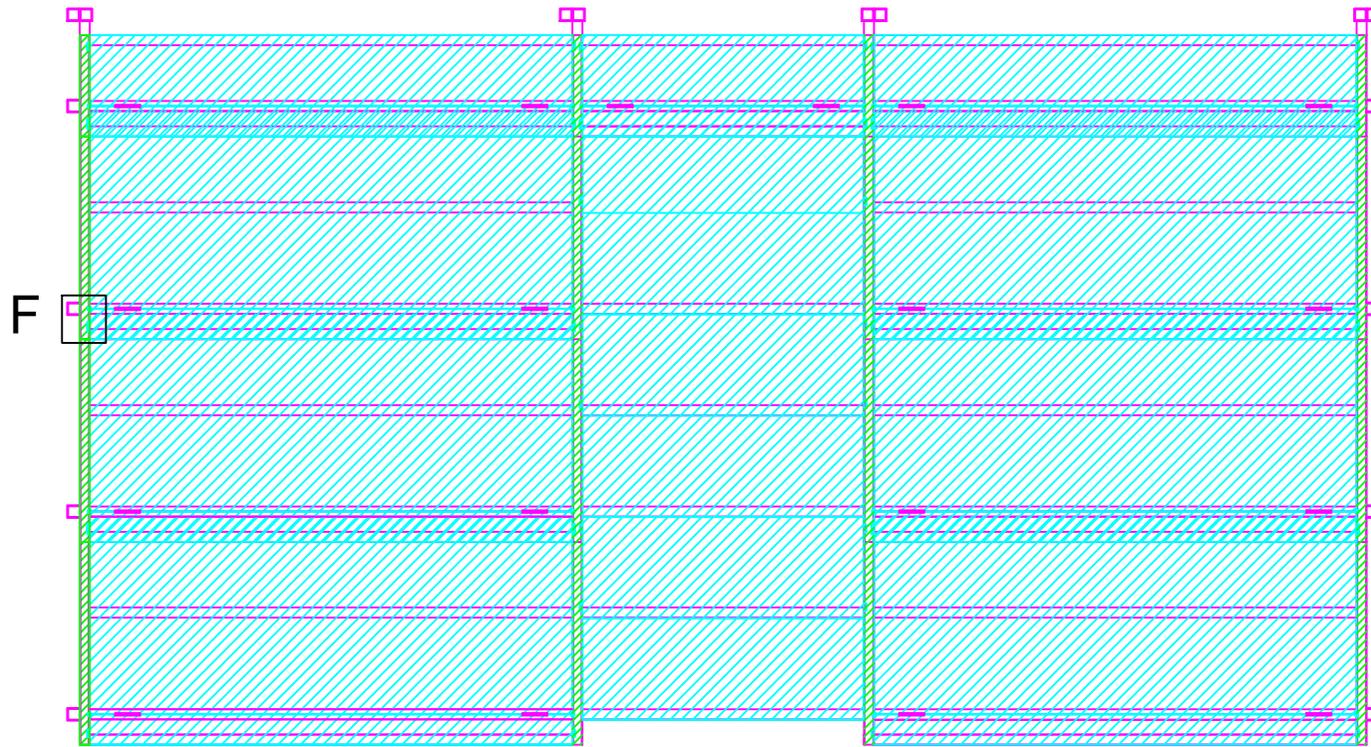
DETALLE E
ESCALA 1:2



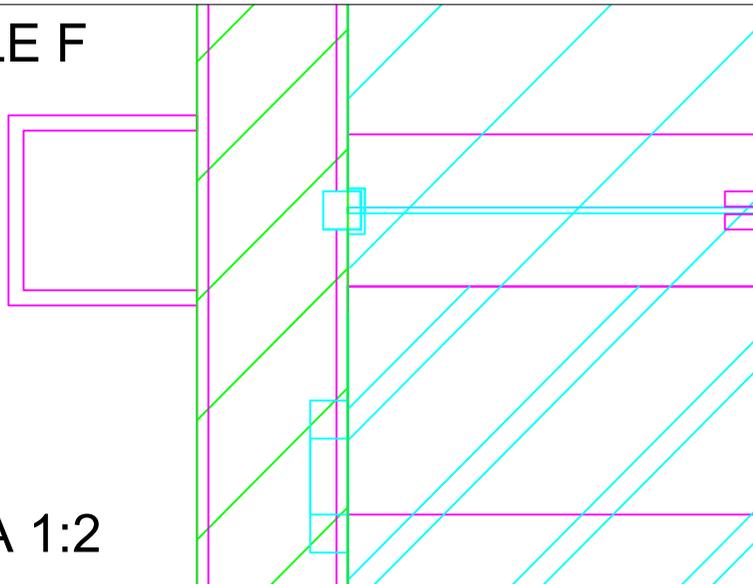
TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N° 12
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:20	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	ALZADO CON CHAPAS	



TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	13
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:30	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	PLANTA CON CHAPAS	

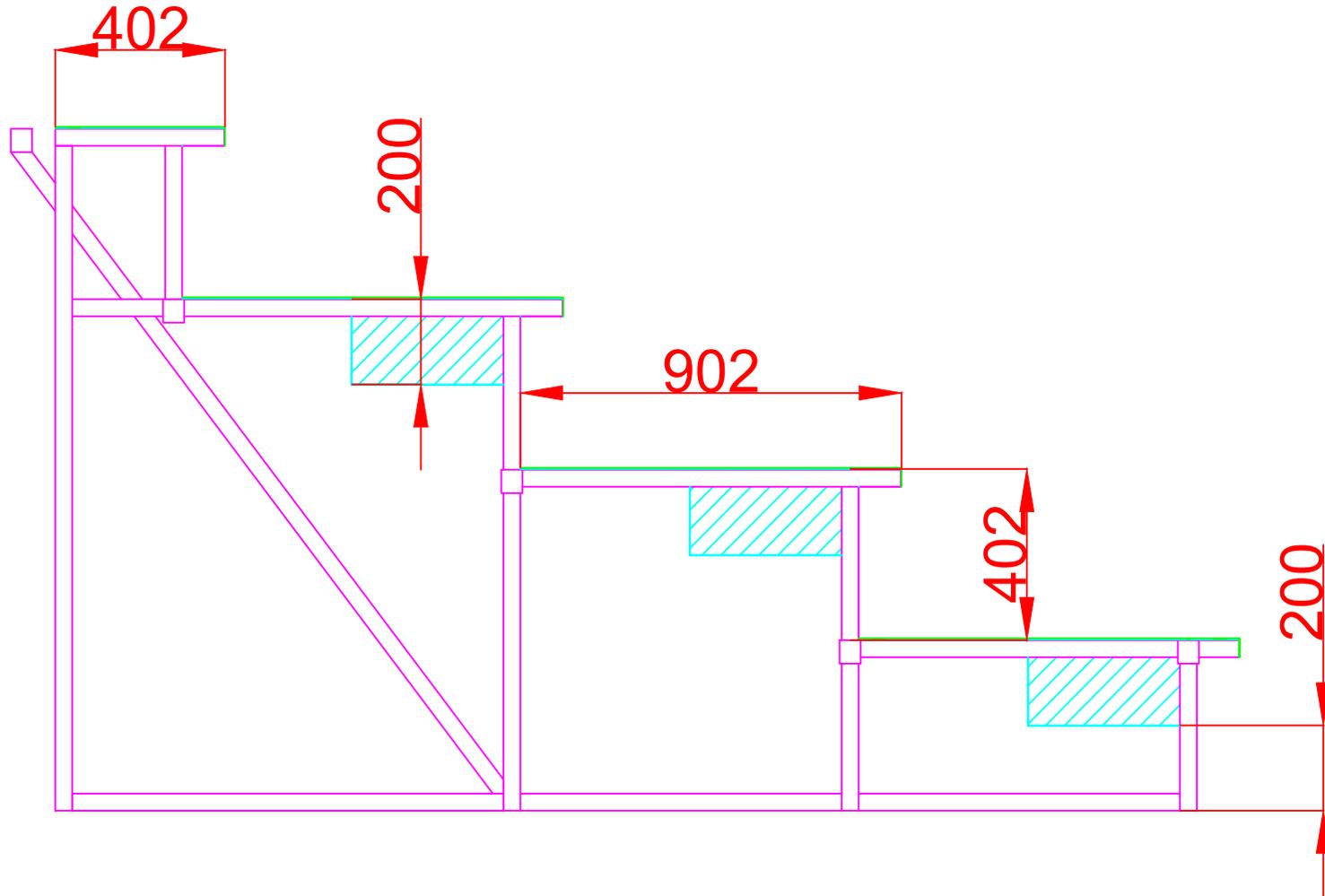


DETALLE F



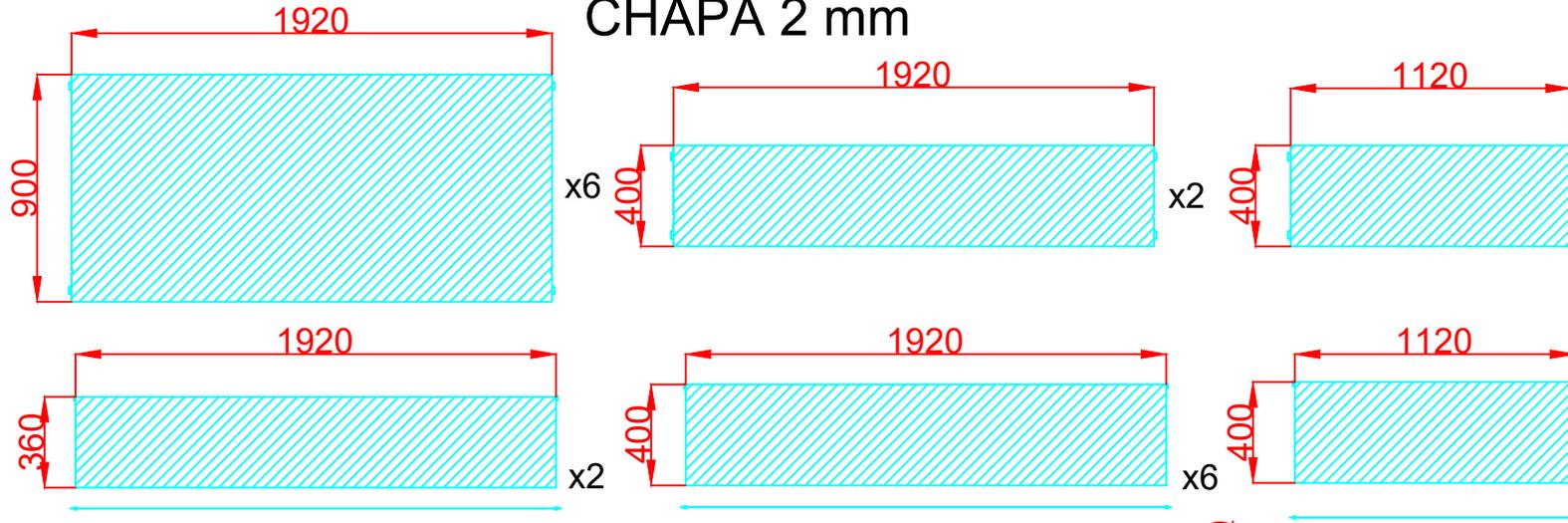
ESCALA 1:2

TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N° 14
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:30	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	PLANTA CON CHAPAS 2	

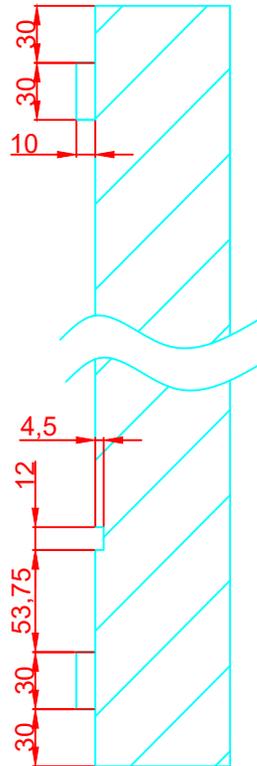


TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	15
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:16	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	PERFIL CON CHAPAS	

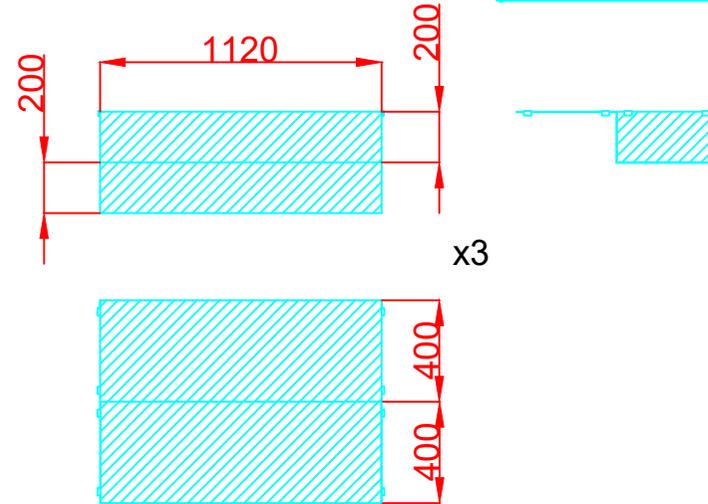
CHAPA 2 mm



DETALLE ANCLAJES Y LATERAL

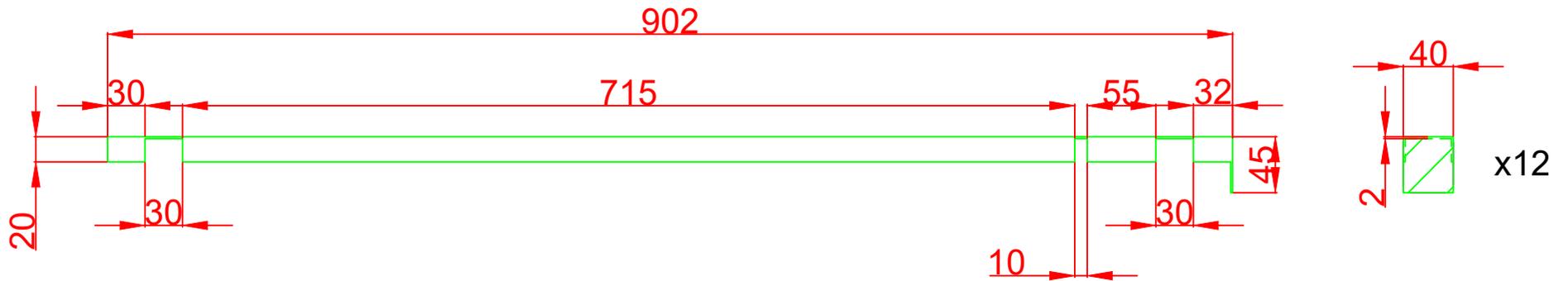
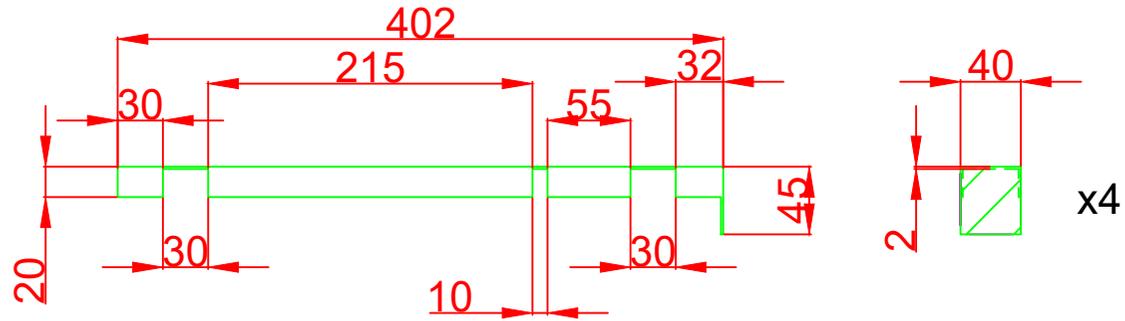


ESCALA 1:4

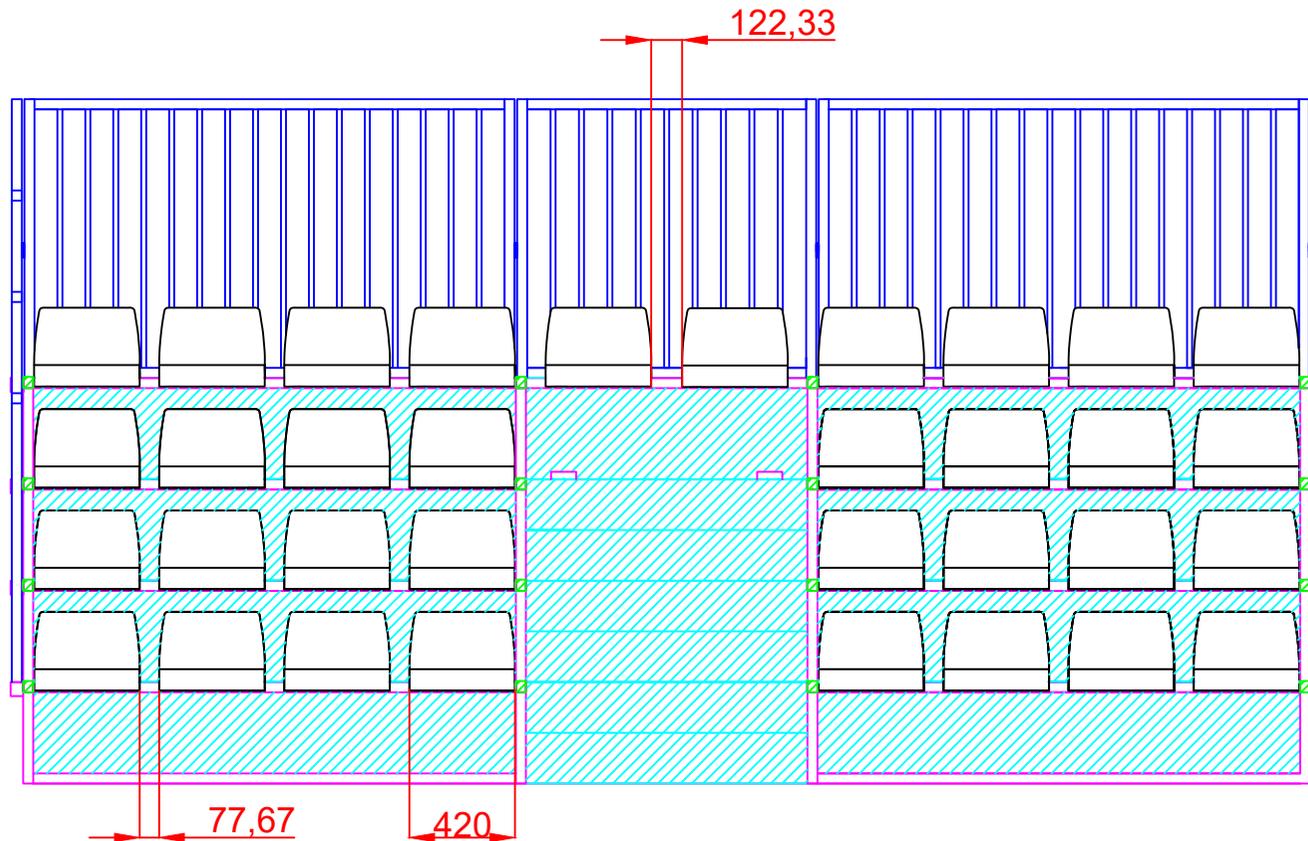


TÍTULO	GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°	16
PROPIETARIO	RUBÉN CABREJAS MERINO	FIRMA	
FORMATO	A4		
ESCALA	1:30	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	DESPIECE. CHAPAS	

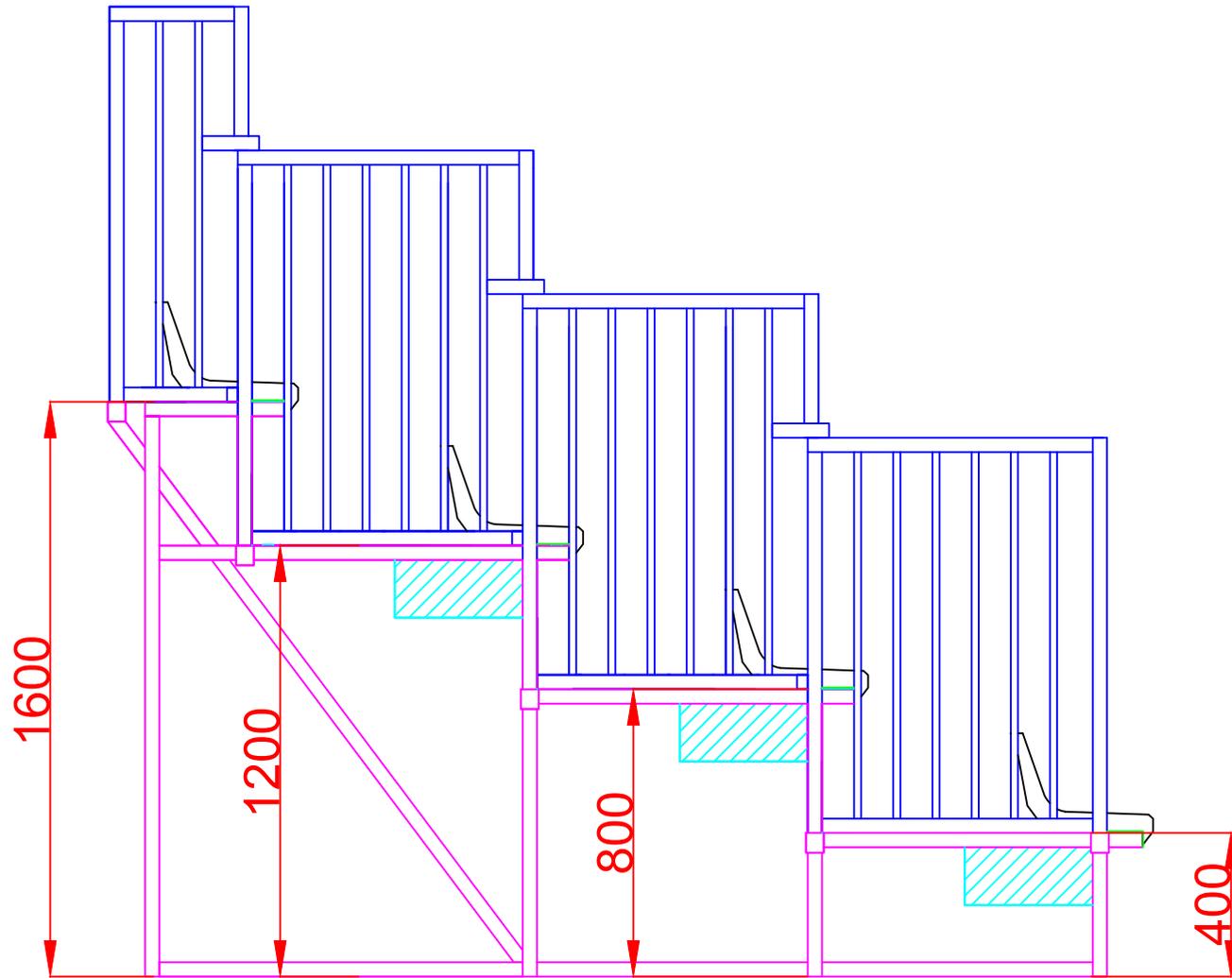
CHAPA 2 mm



TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	17
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:5	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	EMBELLECEDORES	



TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	18
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:30	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	ALZADO. GRADA COMPLETA	



TÍTULO		GRADAS DESMONTABLES Y MODULARES	PLANO N°
PROPIETARIO		RUBÉN CABREJAS MERINO	19
FORMATO		A4	FIRMA
ESCALA	1:20	PLANO	
FECHA	NOVIEMBRE 2020	PERFIL. GRADA COMPLETA	



DOCUMENTO Nº6

ANEXO V

PRESUPUESTO

Autor: Rubén Cabrejas Merino

Director: Jesús Cuartero Salafranca

Noviembre de 2020

00 CAPÍTULO 1. ESTRUCTURA METÁLICA

0001	kg	SOPORTE LATERAL	4 soportes laterales realizados con perfiles cuadrados 40x40x3 y perfiles ULF 40x40x40x3, incluso soportes para barandillas en perfil 50x50x4 y rosetas para anclaje, en acero laminado S275, unidos entre sí mediante uniones soldadas con electrodo básico i/p.p. despuntes, según Eurocódigo 3. Los trabajos serán realizados por soldador cualificado según norma UNE-EN 287-1:1992.					
		Tubo 40x40x3	48	35,40	3,43	121,42		
		Tubo ULF 40x40x40x3	16	12,4	2,59	32,12		
		Tubo 50x50x4	20	1,10	5,67	6,24		
		TOTAL PARTIDA				159,78	1,1	175,75
0002	kg	SOPORTE ASIENTOS	Perfiles 40x40x3 para soporte de plataformas de asientos, incluso pletinas 100x30x4 para soporte de chapas y anclajes para unión con estructuras laterales, en acero laminado S275.					
		Tubo 40x40x3	24	46,08	3,43	158,05		
		Pletina 100x30x4	32		0,096	3,07		
		TOTAL PARTIDA				161,13	1,1	177,24
0003	kg	SOPORTE ESCALERAS	Perfiles 40x40x2 para soporte de escaleras en acero laminado S275.					
		Tubo 40x40x3	8	8,96	3,43	30,733		
		TOTAL PARTIDA				30,73	1,1	33,81
		TOTAL CAPÍTULO						386,80

01 CAPÍTULO 2. BARANDILLAS

0101	kg	BARANDILLA TRASERA ASIENTOS	2 barandillas traseras 1950x1150 mm en la zona de asientos formada por pilastras y barandales en perfil 40x40x5 y balaustres en perfil redondo macizo 20, incluso colocación de anclajes laterales, en acero laminado S275, unidos entre sí mediante uniones soldadas con electrodo básico, según UNE-EN 13200-3:2019. Los trabajos serán realizados por soldador cualificado según norma UNE-EN 287-1:1992.					
		Tubo 40x40x5	8	12,08	4,99	60,279		
		Redondo macizo 20	32	32,64	2,57	83,88		
		TOTAL PARTIDA				144,16	1,1	158,58
0102	kg	BARANDILLA TRASERA ESCALERAS	Barandilla trasera 1190x1150 mm en la zona de escaleras formada por pilastras y barandales en perfil 40x40x5 y balaustres en perfil redondo macizo 20, incluso colocación de anclajes laterales, en acero laminado S275, unidos entre sí mediante uniones soldadas con electrodo básico, según UNE-EN 13200-3:2019. Los trabajos serán realizados por soldador cualificado según norma UNE-EN 287-1:1992.					
		Tubo 40x40x5	4	4,52	4,99	22,55		
		Redondo macizo 20	9	9,18	2,57	23,59		

	TOTAL PARTIDA				46,15	1,1	50,76	
0103	kg	BARANDILLA LATERAL 3						
		2 barandillas laterales superiores 390x1150 mm formadas por pilastras y barandales en perfil 40x40x5 y balaustres en perfil redondo macizo 20, en acero laminado S275, unidos entre sí mediante uniones soldadas con electrodo básico, según UNE-EN 13200-3:2019. Los trabajos serán realizados por soldador cualificado según norma UNE-EN 287-1:1992.						
		Tubo 40x40x5	10	4,6	4,99		22,95	
		Redondo macizo 20	4	4,08	2,57		10,49	
		TOTAL PARTIDA				33,44	1,1	36,78
0104	kg	BARANDILLA LATERAL 2						
		4 barandillas laterales intermedias 830x1150 mm formadas por pilastras y barandales en perfil 40x40x5 y balaustres en perfil redondo macizo 20, en acero laminado S275, unidos entre sí mediante uniones soldadas con electrodo básico, según UNE-EN 13200-3:2019. Los trabajos serán realizados por soldador cualificado según norma UNE-EN 287-1:1992.						
		Tubo 40x40x5	20	12,68	4,99		63,27	
		Redondo macizo 20	24	24,48	2,57		62,91	
		TOTAL PARTIDA				126,19	1,1	138,81
0105	kg	BARANDILLA LATERAL 1						
		2 barandillas laterales inferiores 840x1150 mm formadas por pilastras y barandales en perfil 40x40x5 y balaustres en perfil redondo macizo 20, en acero laminado S275, unidos entre sí mediante uniones soldadas con electrodo básico, según UNE-EN 13200-3:2019. Los trabajos serán realizados por soldador cualificado según norma UNE-EN 287-1:1992.						
		Tubo 40x40x5	8	7,64	4,99		38,12	
		Redondo macizo 20	12	12,24	2,57		31,46	
		TOTAL PARTIDA				69,58	1,1	76,54
		TOTAL CAPÍTULO						461,47
02		CAPÍTULO 3. CHAPAS						
0201	m2	CHAPAS VERTICALES ASIENTOS						
		Chapas perforadas de 1,5 mm de espesor con un porcentaje de agujeros del 63% para colocación debajo de asientos, incluso patillas soldadas para su anclaje, en acero S275.						
			8	5,99	12		71,88	
		TOTAL PARTIDA				71,88	1,1	79,07
0202	m2	CHAPAS VERTICALES ESCALERAS						
		Chapas perforadas de 1,5 mm de espesor con un porcentaje de agujeros del 63% para colocación debajo de asientos en el módulo de escaleras, incluso patillas soldadas para su anclaje, en acero S275.						
			1	0,46	12		5,57	
		TOTAL PARTIDA				5,57	1,1	6,12

0203	m2	CHAPAS ESCALERAS						
		Chapas perforadas de 1,5 mm de espesor con un porcentaje de agujeros del 23% para formación de escalones de escalera, incluso patillas soldadas para su anclaje, en acero S275.						
			3	4,06	12	48,67		
		TOTAL PARTIDA					48,67	1,1 53,54
0203	m2	CHAPAS HORIZONTALES						
		Chapas perforadas de 1,5 mm de espesor con un porcentaje de agujeros del 23% para formación de plataformas para soporte de asientos, incluso patillas soldadas para su anclaje, en acero S275.						
			3	12,35	12	148,22		
		TOTAL PARTIDA					148,22	1,1 163,05
		TOTAL CAPÍTULO						301,78
03		CAPÍTULO 4. VARIOS						
0301	h	MANO DE OBRA						
		Mano de obra directa de fabricación						
			185		20	3700		
		TOTAL PARTIDA						3700
0302	h	COSTE PROYECTO						
		Coste de la realización del proyecto.						
			350		20	7000		
		TOTAL PARTIDA						7000
0303	ud	ASIENTOS						
		Asientos CR2 de dimensiones 42x40x28 realizados en polipropileno copolímero, incluso colocación de anclaje. Color a escoger.						
			34		12	408		
		TOTAL PARTIDA						408
0304	ud	BASES REGULABLES						
		Bases regulables para andamios formados por husillos de 34 mm de diámetro y altura de 500 m, tuerca de brazos y pletina 120x120x5, en acero con un peso de 3 kg la unidad.						
			16	15,85		253,6		
		TOTAL PARTIDA						253,6
0305	ud	LACADO AL HORNO						
		Lacado al horno de las piezas metálicas que componen la grada según carta RAL						
			1			600		
		TOTAL PARTIDA						600
0306	ud	GASTOS VARIOS						

Gastos varios deducidos del uso de herramientas, fabricación de pequeñas piezas como embellecedores, compra o fabricación de anclajes, rosetas y cuñas, etc.

	1	195	
TOTAL PARTIDA			195
TOTAL CAPÍTULO			12156,6

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

00	ESTRUCTURA METÁLICA	386,80	2,91%
01	BARANDILLAS	461,47	3,47%
02	CHAPAS	301,78	2,27%
03	VARIOS	12156,6	91,36%
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		13306,65	
	BENEFICIO INDUSTRIAL	6% 798,40	
	SUMA DE B.I.	14105,04	
	IVA	21% 2962,06	
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		17067,10	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de DIECISIETE MIL SESENTA Y SIETE EUROS con DIEZ CÉNTIMOS