

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

$V_{c,Rd}$  : 694.54 kN

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.208} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.187} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.167} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.279 m del nudo N4, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H3.

Donde:

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  | $N_{c,Ed}$ : <u>78.15</u> kN       |
| $M_{y,Ed}$ , $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.  | $M_{y,Ed}^+$ : <u>27.72</u> kN·m   |
|   | $M_{z,Ed}^-$ : <u>3.14</u> kN·m    |
| <b>Clase</b> : 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. | <b>Clase</b> : <u>1</u>            |
| $N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.   | $N_{pl,Rd}$ : <u>1904.05</u> kN    |
| $M_{pl,Rd,y}$ , $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.                       | $M_{pl,Rd,y}$ : <u>266.88</u> kN·m |
|   | $M_{pl,Rd,z}$ : <u>50.02</u> kN·m  |

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

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| <b>A</b> : Área de la sección bruta.  | <b>A</b> : <u>72.70</u> cm     |
| $W_{pl,y}$ , $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. | $W_{pl,y}$ : <u>1019.00</u> cm |
|   | $W_{pl,z}$ : <u>191.00</u> cm  |
| $f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  | $f_{yd}$ : <u>261.90</u> MPa   |

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

Siendo:

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)              | $f_y$ : <u>275.00</u> MPa   |
| $\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material. | $\gamma_{M1}$ : <u>1.05</u> |

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| $C_{m,y}, C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.  | $C_{m,y} : \underline{1.00}$         |
|   | $C_{m,z} : \underline{1.00}$         |
| $\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.                                    | $\chi_y : \underline{0.93}$          |
|   | $\chi_z : \underline{1.00}$          |
| $\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. | $\bar{\lambda}_y : \underline{0.49}$ |
|   | $\bar{\lambda}_z : \underline{0.00}$ |
| $\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.   | $\alpha_y : \underline{0.60}$        |
|   | $\alpha_z : \underline{0.60}$        |

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

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

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

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad \mathbf{12.14 \text{ kN} \leq 216.41 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

Donde:

|   |  |
|---|--|
| $V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. | $V_{Ed,z} : \underline{12.14} \text{ kN}$    |
| $V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.       | $V_{c,Rd,z} : \underline{432.83} \text{ kN}$ |

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.275} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

|  |   |
|--|---|
| $M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo. | $M_{T,Ed} : \underline{1.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$ |
|--|---|

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : \underline{4.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| $W_T$ : Módulo de resistencia a torsión. | $W_T : \underline{29.37} \text{ cm}$ |
|--|--------------------------------------|

|  |                       |
|--|-----------------------|
| $f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.                   | $f_{vd} : 261.90$ MPa |
| $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$                                   |                       |
| Siendo:  |                       |
| $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)              | $f_y : 275.00$ MPa    |
| $\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material. | $\gamma_{M0} : 1.05$  |

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : 0.023 \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.279 m del nudo N4, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : 10.13$  kN

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.  $M_{T,Ed} : 0.07$  kN·m

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : 432.83 \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{pl,Rd} : 435.49$  kN

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.  $\tau_{T,Ed} : 2.30$  MPa

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.  $W_T : 29.37$  cm

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

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

Siendo:

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

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} : 1.05$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta < 0.001 \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.279 m del nudo N4, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

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

$$V_{Ed} : \underline{0.25} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.07} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{690.30} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{2.30} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{29.37} \text{ cm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

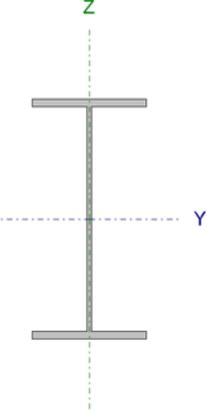
$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

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

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

## 1.6 Jácena interior pórtico interior

| Perfil: IPE 360, Simple con cartelas (Cartela final superior: 1.75 m. Cartela final inferior: 1.75 m.)<br>Material: Acero (S275)  |          |          |                |  |  |  |
|---|----------|----------|----------------|--|--|--|
|    | Nudos    |          | Longitud (m)   | Características mecánicas <sup>(1)</sup> |  |  |
|   | Inicial  | Final    |                | Área (cm <sup>2</sup> )                  | I <sub>y</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>z</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> ) |
|   | N35      | N36      | 7.000          | 72.70                                    | 16270.00   | 1043.00  |
| <b>Notas:</b><br><sup>(1)</sup> Las características mecánicas y el dibujo mostrados corresponden a la sección inicial del perfil (N35)<br><sup>(2)</sup> Inercia respecto al eje indicado<br><sup>(3)</sup> 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 <sub>K</sub>  | 4.900    | 4.900    | 0.000          | 0.000                                    |  |  |
| C <sub>m</sub>  | 1.000    | 1.000    | 1.000          | 1.000                                    |  |  |
| C <sub>1</sub>  | -        |          | 1.000          |  |  |  |
| <b>Notación:</b><br>β: Coeficiente de pandeo<br>L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico  |          |          |                |  |  |  |

| Barra   | COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)                  |  |                       |                    |                        |                   |                   |                   |                               |                               |                                |  |   |                               | Estado              |                               |
|---|---|--|-----------------------|--------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|---|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|
|   | $\bar{\lambda}$                               | $\lambda_w$  | N <sub>t</sub>        | N <sub>c</sub>     | M <sub>y</sub>         | M <sub>z</sub>    | V <sub>z</sub>    | V <sub>y</sub>    | M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> | NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> | NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>t</sub>                                | M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> |                     | M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> |
| N35/N36   | x: 6.817 m<br>$\bar{\lambda} < 2.0$<br>Cumple | x: 6.285 m<br>$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$<br>Cumple | x: 5.112 m<br>η = 6.1 | x: 0 m<br>η = 26.8 | x: 5.114 m<br>η = 24.3 | x: 0 m<br>η = 3.7 | x: 0 m<br>η = 4.0 | x: 0 m<br>η < 0.1 | η < 0.1                       | η < 0.1                       | x: 4.431 m<br>η = 32.9         | η < 0.1  | M <sub>Ed</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | N.P. <sup>(2)</sup>           | N.P. <sup>(2)</sup> | <b>CUMPLE</b><br>η = 32.9     |
| <b>Notación:</b><br>$\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez<br>$\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida<br>N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción<br>N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión<br>M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y<br>M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z<br>V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z<br>V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y<br>M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados<br>M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados<br>NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados<br>NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados<br>M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión<br>M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados<br>M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados<br>x: Distancia al origen de la barra<br>η: Coeficiente de aprovechamiento (%)<br>N.P.: No procede |   |  |                       |                    |                        |                   |                   |                   |                               |                               |                                |  |   |                               |                     |                               |
| Comprobaciones que no proceden (N.P.):<br><sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.<br><sup>(2)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.  |   |  |                       |                    |                        |                   |                   |                   |                               |                               |                                |  |   |                               |                     |                               |

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

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

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

$$\bar{\lambda} : \underline{1.57} \quad \checkmark$$

Donde:

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

**Clase :** 4

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

**A<sub>ef</sub> :** 162.08 cm

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub> :** 1800.50 kN

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{175261.72} \text{ kN}$$

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1800.50} \text{ kN}$$

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

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

Donde:

$I_y$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{203029.99} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{2085.77} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{71.94} \text{ cm}^4$$

$I_w$ : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{2834140.33} \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

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

$G$ : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_{ky} : \underline{4.900} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{4.900} \text{ m}$$

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

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

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

$$i_0 : \underline{34.80} \text{ cm}$$

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

Siendo:

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

$$i_y : \underline{34.62} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.51} \text{ cm}$$

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

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$102.51 \leq 399.36 \checkmark$$

Donde:

|   |  |
|---|--|
| <b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.                               | <b>h<sub>w</sub></b> : <u>820.11</u> mm    |
| <b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.                              | <b>t<sub>w</sub></b> : <u>8.00</u> mm      |
| <b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.                                 | <b>A<sub>w</sub></b> : <u>65.61</u> cm     |
| <b>A<sub>fc,ef</sub></b> : Área reducida del ala comprimida.          | <b>A<sub>fc,ef</sub></b> : <u>21.59</u> cm |
| <b>k</b> : Coeficiente que depende de la clase de la sección.         | <b>k</b> : <u>0.30</u>                     |
| <b>E</b> : Módulo de elasticidad.                                     | <b>E</b> : <u>210000</u> MPa               |
| <b>f<sub>yf</sub></b> : Límite elástico del acero del ala comprimida. | <b>f<sub>yf</sub></b> : <u>275.00</u> MPa  |

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.061} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.112 m del nudo N35, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H3.

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{t,Ed}} : \underline{115.93} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N<sub>t,Rd</sub>** viene dada por:

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

$$\mathbf{N_{t,Rd}} : \underline{1904.05} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$\mathbf{A} : \underline{72.70} \text{ cm}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

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

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.095} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.268} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N35, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed}$  : 175.53 kN

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

$N_{c,Rd} = A_{ef} \cdot f_{yd}$   $N_{c,Rd}$  : 1840.02 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** : 4

**A<sub>ef</sub>**: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A<sub>ef</sub>** : 70.26 cm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ<sub>M0</sub>** : 1.05

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

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

$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{ef} \cdot f_{yd}$   $N_{b,Rd}$  : 654.09 kN

Donde:

**A<sub>ef</sub>**: Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A<sub>ef</sub>** : 70.26 cm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M1</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ<sub>M1</sub>** : 1.05

**χ**: Coeficiente de reducción por pandeo.

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

**χ<sub>y</sub>** : 0.96

**χ<sub>z</sub>** : 0.36

Siendo:

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

**φ<sub>y</sub>** : 0.59

**φ<sub>z</sub>** : 1.79

**α**: Coeficiente de imperfección elástica. **α<sub>y</sub>** : 0.21

**α<sub>z</sub>** : 0.34

**λ̄**: Esbeltez reducida.

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

**λ̄<sub>y</sub>** : 0.37

**λ̄<sub>z</sub>** : 1.46

|   |   |
|---|---|
| $N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: | $N_{cr}$ : <u>900.35</u> kN             |
| $N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.                   | $N_{cr,y}$ : <u>14044.76</u> kN         |
| $N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.                   | $N_{cr,z}$ : <u>900.35</u> kN           |
| $N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.                                     | $N_{cr,T}$ : <u><math>\infty</math></u> |

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.243} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.114 m del nudo N35, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{64.92} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.114 m del nudo N35, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H1+0.75·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{64.92} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{266.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

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

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

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.037} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N35, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.87} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N35, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$ .

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

$$M_{Ed}^- : \underline{1.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{50.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{191.00} \text{ cm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

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

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

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.040} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N35, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

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

$$V_{Ed} : \underline{17.52} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{435.49} \text{ kN}$$

Donde:

---

|  |   |
|--|---|
| <b>A<sub>v</sub></b> : Área transversal a cortante.                    | <b>A<sub>v</sub></b> : <u>28.80</u> cm    |
| $A_v = h \cdot t_w$  |   |
| Siendo:  |   |
| <b>h</b> : Canto de la sección.  | <b>h</b> : <u>360.00</u> mm               |
| <b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.                               | <b>t<sub>w</sub></b> : <u>8.00</u> mm     |
| <b>f<sub>vd</sub></b> : Resistencia de cálculo del acero.              | <b>f<sub>vd</sub></b> : <u>261.90</u> MPa |
| $f_{vd} = f_y / \gamma_{M0}$   |   |
| Siendo:  |   |
| <b>f<sub>y</sub></b> : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)       | <b>f<sub>y</sub></b> : <u>275.00</u> MPa  |
| <b>γ<sub>M0</sub></b> : Coeficiente parcial de seguridad del material. | <b>γ<sub>M0</sub></b> : <u>1.05</u>       |

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad \mathbf{41.83 < 64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma. **λ<sub>w</sub>** : 41.83

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

**λ<sub>máx</sub>**: Esbeltez máxima. **λ<sub>máx</sub>** : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

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

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

Siendo:

**f<sub>ref</sub>**: Límite elástico de referencia. **f<sub>ref</sub>** : 235.00 MPa

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta < \mathbf{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N35, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(90°)H2+0.75·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V<sub>Ed</sub>** : 0.27 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v : \underline{45.93} \text{ cm}$

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

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.  $A : \underline{72.70} \text{ cm}$

$d$ : Altura del alma.  $d : \underline{334.60} \text{ mm}$

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$

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

Siendo:

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

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 17.52 \text{ kN} \leq 217.74 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{17.52} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : \underline{435.49} \text{ kN}$

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 0.27 \text{ kN} \leq 347.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : 0.27 \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : 694.54 \text{ kN}$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : 0.200 \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{el,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : 0.207 \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{el,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : 0.329 \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 4.431 m del nudo N35, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q+0.9·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed} : 150.79 \text{ kN}$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{y,Ed}^+ : 27.85 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed}^+ : 0.12 \text{ kN}\cdot\text{m}$

**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. **Clase** : 3

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.  $N_{pl,Rd} : 1904.05 \text{ kN}$

$M_{el,Rd,y}$ ,  $M_{el,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{el,Rd,y} : 236.73 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{el,Rd,z} : 32.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

**A**: Área de la sección bruta. **A** : 72.70 cm

$W_{el,y}$ ,  $W_{el,z}$ : Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.  $W_{el,y} : 903.89 \text{ cm}$

$W_{el,z} : 122.71 \text{ cm}$

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

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

Siendo:

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

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M1} : 1.05$

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + 0.6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

|   |  |
|---|--|
|   | $k_y :$ <u>1.02</u>  |
| $k_z = 1 + 0.6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$  | $k_z :$ <u>1.14</u>  |
| $C_{m,y}, C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.  | $C_{m,y} :$ <u>1.00</u><br>$C_{m,z} :$ <u>1.00</u>                 |
| $\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.                                    | $\chi_y :$ <u>0.96</u><br>$\chi_z :$ <u>0.35</u>                   |
| $\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. | $\bar{\lambda}_y :$ <u>0.38</u><br>$\bar{\lambda}_z :$ <u>1.49</u> |
| $\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.   | $\alpha_y :$ <u>0.80</u><br>$\alpha_z :$ <u>1.00</u>               |

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \qquad \mathbf{17.52 \text{ kN} \leq 217.74 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

Donde:

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| $V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. | $V_{Ed,z} :$ <u>17.52</u> kN    |
| $V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.       | $V_{c,Rd,z} :$ <u>435.49</u> kN |

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

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

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

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

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

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

## 1.7 Pilar muro piñón

| Perfil: HE 240 B<br>Material: Acero (S275)  |              |                           |  |  |  |        |
|---|--------------|---------------------------|--|--|--|--------|
| Nudos   | Longitud (m) | Características mecánicas |  |  |  |        |
|   |              | Área (cm <sup>2</sup> )   | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> ) |        |
| Inicial   | Final        |                           |  |  |  |        |
| N157  | N5           | 9.000                     | 106.00   | 11260.00   | 3923.00  | 102.70 |
| Notas:<br>(1) Inercia respecto al eje indicado<br>(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 <sub>K</sub>  |              | 6.300                     | 6.300  | 0.000  | 0.000  |        |
| C <sub>m</sub>  |              | 1.000                     | 1.000  | 1.000  | 1.000  |        |
| C <sub>1</sub>  |              | -                         |  | 1.000  |  |        |
| Notación:<br>β: Coeficiente de pandeo<br>L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico |              |                           |  |  |  |        |

| Barra  | COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)    |  |                        |                        |                         |                        |                         |                |                               |                               |                                |  |   |                               | Estado              |  |
|--|---------------------------------|--|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|---|-------------------------------|---------------------|--|
|  | $\bar{\lambda}$                 | $\lambda_w$  | N <sub>t</sub>         | N <sub>c</sub>         | M <sub>y</sub>          | M <sub>z</sub>         | V <sub>z</sub>          | V <sub>y</sub> | M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> | NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> | NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>t</sub>                                | M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> |                     | M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>                    |
| N157/N5  | $\bar{\lambda} < 2.0$<br>Cumple | x: 0 m<br>$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$<br>Cumple | x: 9 m<br>$\eta = 0.8$ | x: 0 m<br>$\eta = 4.8$ | x: 0 m<br>$\eta = 40.2$ | x: 0 m<br>$\eta = 2.0$ | x: 0 m<br>$\eta = 13.2$ | $\eta < 0.1$   | x: 0 m<br>$\eta < 0.1$        | x: 0 m<br>$\eta < 0.1$        | x: 0 m<br>$\eta = 41.5$        | x: 0 m<br>$\eta < 0.1$                                       | M <sub>Ed</sub> = 0.00<br>N.P. <sup>(1)</sup> | N.P. <sup>(2)</sup>           | N.P. <sup>(2)</sup> | <b>CUMPLE</b><br><b><math>\eta = 41.5</math></b> |
| Notación:<br>$\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez<br>$\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida<br>N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción<br>N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión<br>M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y<br>M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z<br>V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z<br>V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y<br>M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados<br>M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados<br>NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados<br>NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados<br>M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión<br>M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados<br>M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados<br>x: Distancia al origen de la barra<br>η: Coeficiente de aprovechamiento (%)<br>N.P.: No procede |                                 |  |                        |                        |                         |                        |                         |                |                               |                               |                                |  |   |                               |                     |  |
| Comprobaciones que no proceden (N.P.):<br>(1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.<br>(2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.   |                                 |  |                        |                        |                         |                        |                         |                |                               |                               |                                |  |   |                               |                     |  |

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

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

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

$$\bar{\lambda} : \underline{1.17} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

$$A : \underline{106.00} \text{ cm}$$

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{2048.60} \text{ kN}$$

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

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{5879.99} \text{ kN}$$

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{2048.60} \text{ kN}$$

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

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

Donde:

$I_y$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{11260.00} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{3923.00} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{102.70} \text{ cm}^4$$

$I_w$ : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{486900.00} \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

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

$G$ : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_{ky} : \underline{6.300} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{6.300} \text{ m}$$

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

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

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

$$i_0 : \underline{11.97} \text{ cm}$$

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

Siendo:

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

$$i_y : \underline{10.31} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{6.08} \text{ cm}$$

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

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$20.60 \leq 168.93 \checkmark$$

Donde:

|   |  |
|---|--|
| <b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.                               | <b>h<sub>w</sub></b> : <u>206.00</u> mm    |
| <b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.                              | <b>t<sub>w</sub></b> : <u>10.00</u> mm     |
| <b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.                                 | <b>A<sub>w</sub></b> : <u>20.60</u> cm     |
| <b>A<sub>fc,ef</sub></b> : Área reducida del ala comprimida.          | <b>A<sub>fc,ef</sub></b> : <u>40.80</u> cm |
| <b>k</b> : Coeficiente que depende de la clase de la sección.         | <b>k</b> : <u>0.30</u>                     |
| <b>E</b> : Módulo de elasticidad.                                     | <b>E</b> : <u>210000</u> MPa               |
| <b>f<sub>yf</sub></b> : Límite elástico del acero del ala comprimida. | <b>f<sub>yf</sub></b> : <u>265.00</u> MPa  |

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{t,Ed}} : \underline{22.12} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N<sub>t,Rd</sub>** viene dada por:

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

$$\mathbf{N_{t,Rd}} : \underline{2675.24} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$\mathbf{A} : \underline{106.00} \text{ cm}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f_{yd}} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f_y} : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.048} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N157, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed}$  : 57.98 kN

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

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$   $N_{c,Rd}$  : 2675.24 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** : 106.00 cm

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

**$f_{yd}$**  : 252.38 MPa

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

Siendo:

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

**$f_y$**  : 265.00 MPa

**$\gamma_{M0}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$   $N_{b,Rd}$  : 1198.12 kN

Donde:

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

**A** : 106.00 cm

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

**$f_{yd}$**  : 252.38 MPa

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

Siendo:

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

**$f_y$**  : 265.00 MPa

**$\gamma_{M1}$** : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

**$\chi$** : Coeficiente de reducción por pandeo.

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

**$\chi_y$**  : 0.79

**$\chi_z$**  : 0.45

Siendo:

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

**$\phi_y$**  : 0.82

**$\phi_z$**  : 1.42

**$\alpha$** : Coeficiente de imperfección elástica.

**$\alpha_y$**  : 0.34

**$\alpha_z$**  : 0.49

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

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

**$\bar{\lambda}_y$**  : 0.69

|   |   |
|---|---|
|   | $\bar{\lambda}_z$ : <u>1.17</u>         |
| $N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: | $N_{cr}$ : <u>2048.60</u> kN            |
| $N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.                   | $N_{cr,y}$ : <u>5879.99</u> kN          |
| $N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.                   | $N_{cr,z}$ : <u>2048.60</u> kN          |
| $N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.                                     | $N_{cr,T}$ : <u><math>\infty</math></u> |

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.402} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N157, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3$ .

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{95.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N157, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

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

$$M_{Ed}^- : \underline{106.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{265.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{1053.00} \text{ cm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.020} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N157, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{2.32} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N157, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(180^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

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

$$M_{Ed}^- : \underline{2.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{125.79} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{498.40} \text{ cm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{vd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.132} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N157, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

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

$$V_{Ed} : \underline{46.31} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{349.71} \text{ kN}$$

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante. **A<sub>v</sub>** : 24.00 cm

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h**: Canto de la sección. **h** : 240.00 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma. **t<sub>w</sub>** : 10.00 mm

**f<sub>vd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>vd</sub>** : 252.38 MPa

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ<sub>M0</sub>** : 1.05

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \qquad \mathbf{20.60 < 65.92} \quad \checkmark$$

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma. **λ<sub>w</sub>** : 20.60

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

**λ<sub>máx</sub>**: Esbeltez máxima. **λ<sub>máx</sub>** : 65.92

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

**ε**: Factor de reducción. **ε** : 0.94

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

Siendo:

**f<sub>ref</sub>**: Límite elástico de referencia. **f<sub>ref</sub>** : 235.00 MPa

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 265.00 MPa

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \qquad \eta < \mathbf{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(180°)H4+0.75·N(R)1.

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V<sub>Ed</sub>** : 0.28 kN

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

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad V_{c,Rd} : \underline{1244.38} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.  $A_v : \underline{85.40} \text{ cm}$

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

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.  $A : \underline{106.00} \text{ cm}$

$d$ : Altura del alma.  $d : \underline{206.00} \text{ mm}$

$t_w$ : Espesor del alma.  $t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$

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

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 46.31 \text{ kN} \leq 174.85 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N157, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{46.31} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : \underline{349.71} \text{ kN}$

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \quad 0.28 \text{ kN} \leq 622.19 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N157, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(180°)H4+0.75·N(R)1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed}$  : 0.28 kN

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd}$  : 1244.38 kN

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.411} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.415} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.263} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N157, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(90°)H2+0.75·N(R)2.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed}$  : 23.58 kN  
 $M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{y,Ed}$  : 106.74 kN·m  
 $M_{z,Ed}$  : 0.07 kN·m  
**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1  
 $N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.  $N_{pl,Rd}$  : 2675.24 kN  
 $M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{pl,Rd,y}$  : 265.76 kN·m  
 $M_{pl,Rd,z}$  : 125.79 kN·m

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

**A**: Área de la sección bruta. **A** : 106.00 cm  
 $W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.  $W_{pl,y}$  : 1053.00 cm  
 $W_{pl,z}$  : 498.40 cm  
 $f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}$  : 252.38 MPa

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

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 265.00 MPa

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M1}$  : 1.05

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.03}$$

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.  $C_{m,y} : \underline{1.00}$   
 $C_{m,z} : \underline{1.00}$

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.  $\chi_y : \underline{0.79}$   
 $\chi_z : \underline{0.45}$

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.  $\bar{\lambda}_y : \underline{0.69}$   
 $\bar{\lambda}_z : \underline{1.17}$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.  $\alpha_y : \underline{0.60}$   
 $\alpha_z : \underline{0.60}$

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N157, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad 46.31 \text{ kN} \leq 174.85 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed,z} : \underline{46.31} \text{ kN}$   
 $V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd,z} : \underline{349.71} \text{ kN}$

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

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

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

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

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

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

## 1.8 Pilar exterior pórtico de fachada

| Perfil: IPE 360<br>Material: Acero (S275)   |              |                           |  |  |  |       |
|---|--------------|---------------------------|--|--|--|-------|
| Nudos   | Longitud (m) | Características mecánicas |  |  |  |       |
|   |              | Área (cm <sup>2</sup> )   | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> ) |       |
| Inicial   | Final        |                           |  |  |  |       |
| N1  | N2           | 7.000                     | 72.70  | 16270.00   | 1043.00  | 37.30 |
| Notas:<br>(1) Inercia respecto al eje indicado<br>(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 <sub>K</sub>  | 4.900        | 4.900                     | 0.000  | 0.000  |  |       |
| C <sub>m</sub>  | 1.000        | 1.000                     | 1.000  | 1.000  |  |       |
| C <sub>1</sub>  | -            |                           | 1.000  |  |  |       |
| Notación:<br>β: Coeficiente de pandeo<br>L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico |              |                           |  |  |  |       |

| Barra  | COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)    |  |                       |                   |                    |                    |                   |                   |                               |                               |                                |  |                |                               | Estado            |                               |
|--|---------------------------------|--|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|----------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
|  | $\bar{\lambda}$                 | $\lambda_w$                                | N <sub>t</sub>        | N <sub>c</sub>    | M <sub>y</sub>     | M <sub>z</sub>     | V <sub>z</sub>    | V <sub>y</sub>    | M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> | NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> | NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>t</sub> | M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> |                   | M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> |
| N1/N2  | $\bar{\lambda} < 2.0$<br>Cumple | $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$<br>Cumple | x: 6.844 m<br>η = 0.5 | x: 0 m<br>η = 6.8 | x: 0 m<br>η = 14.1 | x: 0 m<br>η = 52.9 | x: 0 m<br>η = 3.5 | x: 0 m<br>η = 2.6 | η < 0.1                       | η < 0.1                       | x: 0 m<br>η = 70.7             | η < 0.1  | η = 0.5        | x: 0 m<br>η = 0.7             | x: 0 m<br>η = 0.1 | <b>CUMPLE</b><br>η = 70.7     |
| Notación:<br>λ: Limitación de esbeltez<br>λ <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida<br>N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción<br>N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión<br>M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y<br>M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z<br>V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z<br>V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y<br>M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados<br>M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados<br>NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados<br>NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados<br>M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión<br>M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados<br>M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados<br>x: Distancia al origen de la barra<br>η: Coeficiente de aprovechamiento (%) |                                 |  |                       |                   |                    |                    |                   |                   |                               |                               |                                |  |                |                               |                   |                               |

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

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

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

$$\bar{\lambda} : \underline{1.46} \quad \checkmark$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase :** 4

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A<sub>ef</sub> :** 70.26 cm

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico. **N<sub>cr</sub> :** 900.35 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **N<sub>cr,v</sub> :** 14044.76 kN

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{900.35} \text{ kN}$$

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

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

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{16270.00} \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{1043.00} \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{37.30} \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{314000.00} \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

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

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

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

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{4.900} \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{4.900} \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{15.43} \text{ cm}$$

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

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{14.96} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.79} \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$41.83 \leq 255.09 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : \underline{334.60} \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \underline{26.77} \text{ cm}$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{21.59} \text{ cm}$$

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

$$k : \underline{0.30}$$

**E**: Módulo de elasticidad.

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

**f<sub>vf</sub>**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{vf} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.844 m del nudo N1, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{9.49} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N<sub>t,Rd</sub>** viene dada por:

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

$$N_{t,Rd} : \underline{1904.05} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

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

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.024} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.068} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(0°)H4+0.75·N(EI).

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed}$  : 44.50 kN

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

$N_{c,Rd} = A_{ef} \cdot f_{yd}$   $N_{c,Rd}$  : 1840.02 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** : 4

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A<sub>ef</sub>** : 70.26 cm

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ<sub>M0</sub>** : 1.05

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

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

$N_{b,Rd} = \chi \cdot A_{ef} \cdot f_{yd}$   $N_{b,Rd}$  : 654.09 kN

Donde:

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4. **A<sub>ef</sub>** : 70.26 cm

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ<sub>M1</sub>** : 1.05

**χ:** Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$
  $\chi_y$  : 0.96

$\chi_z$  : 0.36

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$
  $\phi_y$  : 0.59

$\phi_z$  : 1.79

**α:** Coeficiente de imperfección elástica. **α<sub>y</sub>** : 0.21

**α<sub>z</sub>** : 0.34

**λ̄:** Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{ef} \cdot f_y}{N_{cr}}}$$
  $\bar{\lambda}_y$  : 0.37

$\bar{\lambda}_z$  : 1.46

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

**N<sub>cr</sub>** : 900.35 kN

**N<sub>cr,y</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,v</sub>** : 14044.76 kN

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

$$N_{cr,z} : \underline{900.35} \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.141} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H4 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{34.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

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

$$M_{Ed}^- : \underline{37.51} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{266.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

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

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

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.529} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{24.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(0°)H3+0.75·N(EI).

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

$$M_{Ed}^- : \underline{26.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{50.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{pl,z} : \underline{191.00} \text{ cm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

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

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

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.035} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(180°)H3+0.75·N(R)1.

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

$$V_{Ed} : \underline{15.42} \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{435.49} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{28.80} \text{ cm}$$

$$A_v = h \cdot t_w$$

Siendo:

**h**: Canto de la sección. **h** : 360.00 mm  
**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma. **t<sub>w</sub>** : 8.00 mm

**f<sub>vd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>vd</sub>** : 261.90 MPa

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ<sub>M0</sub>** : 1.05

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \quad \mathbf{41.83 < 64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma. **λ<sub>w</sub>** : 41.83

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

**λ<sub>máx</sub>**: Esbeltez máxima. **λ<sub>máx</sub>** : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

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

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

Siendo:

**f<sub>ref</sub>**: Límite elástico de referencia. **f<sub>ref</sub>** : 235.00 MPa

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \quad \mathbf{\eta : 0.026} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(0°)H3+0.75·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V<sub>Ed</sub>** : 18.37 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \mathbf{V_{c,Rd} : 694.54} \quad \text{kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$ : 45.93 cm

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

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$A$ : 72.70 cm

$d$ : Altura del alma.

$d$ : 334.60 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$ : 8.00 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$ : 261.90 MPa

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

Siendo:

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

$f_y$ : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$ : 1.05

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

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

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

**15.42 kN ≤ 217.74 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(180°)H3+0.75·N(R)1.

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

$V_{Ed}$ : 15.42 kN

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

$V_{c,Rd}$ : 435.49 kN

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

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

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

**18.37 kN ≤ 347.27 kN** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(0°)H3+0.75·N(EI).

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

$V_{Ed}$ : 18.37 kN

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

$V_{c,Rd}$  : 694.54 kN

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.659} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.478} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.707} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(0°)H3+0.75·N(R)2.

Donde:

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| $N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  | $N_{c,Ed}$ : <u>42.79</u> kN       |
| $M_{y,Ed}$ , $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.  | $M_{y,Ed}^+$ : <u>28.73</u> kN·m   |
|   | $M_{z,Ed}^-$ : <u>26.48</u> kN·m   |
| <b>Clase</b> : 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. | <b>Clase</b> : <u>1</u>            |
| $N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.   | $N_{pl,Rd}$ : <u>1904.05</u> kN    |
| $M_{pl,Rd,y}$ , $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.                       | $M_{pl,Rd,y}$ : <u>266.88</u> kN·m |
|   | $M_{pl,Rd,z}$ : <u>50.02</u> kN·m  |

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

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| <b>A</b> : Área de la sección bruta.  | <b>A</b> : <u>72.70</u> cm     |
| $W_{pl,y}$ , $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. | $W_{pl,y}$ : <u>1019.00</u> cm |
|   | $W_{pl,z}$ : <u>191.00</u> cm  |
| $f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  | $f_{yd}$ : <u>261.90</u> MPa   |

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

Siendo:

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)              | $f_y$ : <u>275.00</u> MPa   |
| $\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material. | $\gamma_{M1}$ : <u>1.05</u> |

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.09}$$

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| $C_{m,y}, C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.  | $C_{m,y} : \underline{1.00}$         |
|   | $C_{m,z} : \underline{1.00}$         |
| $\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.                                    | $\chi_y : \underline{0.96}$          |
|   | $\chi_z : \underline{0.35}$          |
| $\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. | $\bar{\lambda}_y : \underline{0.38}$ |
|   | $\bar{\lambda}_z : \underline{1.49}$ |
| $\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.   | $\alpha_y : \underline{0.60}$        |
|   | $\alpha_z : \underline{0.60}$        |

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(180^\circ)H3 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad \mathbf{15.42 \text{ kN} \leq 217.56 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

Donde:

|   |  |
|---|--|
| $V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. | $V_{Ed,z} : \underline{15.42} \text{ kN}$    |
| $V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.       | $V_{c,Rd,z} : \underline{435.12} \text{ kN}$ |

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(90^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

|  |   |
|--|---|
| $M_{T,Ed}$ : 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:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : \underline{4.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

|  |                              |
|--|------------------------------|
| $W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.                       | $W_T$ : <u>29.37</u> cm      |
| $f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.                   | $f_{yd}$ : <u>261.90</u> MPa |
| $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$                                   |                              |
| Siendo:  |                              |
| $f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)              | $f_y$ : <u>275.00</u> MPa    |
| $\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material. | $\gamma_{M0}$ : <u>1.05</u>  |

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.007} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q+0.9·V(270°)H2+0.75·N(R)2.

$$V_{Ed}: \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{2.90} \text{ kN}$$

$$M_{T,Ed}: \text{Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : \underline{435.12} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd}: \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{pl,Rd} : \underline{435.49} \text{ kN}$$

$$\tau_{T,Ed}: \text{Tensiones tangenciales por torsión.} \quad \tau_{T,Ed} : \underline{0.32} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$$W_T: \text{Módulo de resistencia a torsión.} \quad W_T : \underline{29.37} \text{ cm}$$

$$f_{yd}: \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$\gamma_{M0}: \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.001} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N1, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

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

$$V_{Ed} : \underline{0.40} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$ : 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:

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{693.96} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.32} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{29.37} \text{ cm}$$

$f_{vd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

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

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

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

## 1.9 Pilar exterior pórtico interior

| Perfil: IPE 360, Simple con cartelas (Cartela final superior: 1.75 m.)<br>Material: Acero (S275)  |              |          |  |  |  |  |
|---|--------------|----------|--|--|--|--|
| Nudos   | Longitud (m) |          | Características mecánicas <sup>(1)</sup> |  |  |  |
|   | Inicial      | Final    | Área (cm <sup>2</sup> )                  | I <sub>y</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>z</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(3)</sup> (cm <sup>4</sup> ) |
| N17   | N18          | 7.000    | 72.70                                    | 16270.00   | 1043.00  | 37.30  |
| <b>Notas:</b><br><sup>(1)</sup> Las características mecánicas y el dibujo mostrados corresponden a la sección inicial del perfil (N17)<br><sup>(2)</sup> Inercia respecto al eje indicado<br><sup>(3)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme |              |          |  |  |  |  |
|   |              | Pandeo   |  | Pandeo lateral                                   |  |  |
|   |              | Plano XY | Plano XZ                                 | Ala sup.   | Ala inf.   |  |
| β   |              | 0.70     | 1.40                                     | 0.00   | 0.00   |  |
| L <sub>K</sub>  |              | 4.900    | 9.800                                    | 0.000  | 0.000  |  |
| C <sub>m</sub>  |              | 1.000    | 1.000                                    | 1.000  | 1.000  |  |
| C <sub>1</sub>  |              | -        |  | 1.000  |  |  |
| <b>Notación:</b><br>β: Coeficiente de pandeo<br>L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico  |              |          |  |  |  |  |

| Barra   | COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)                  |  |                            |                             |                         |                        |                         |                        |                               |                               |                                |  |                            |                               | Estado                 |                                |
|---|---|--|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|
|   | $\bar{\lambda}$                               | $\lambda_w$  | N <sub>t</sub>             | N <sub>c</sub>              | M <sub>y</sub>          | M <sub>z</sub>         | V <sub>z</sub>          | V <sub>y</sub>         | M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> | NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> | NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>t</sub>             | M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> |                        | M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>  |
| N17/N18   | x: 6.817 m<br>$\bar{\lambda} < 2.0$<br>Cumple | x: 6.285 m<br>$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$<br>Cumple | x: 5.114 m<br>$\eta = 1.7$ | x: 5.114 m<br>$\eta = 14.1$ | x: 0 m<br>$\eta = 66.5$ | x: 0 m<br>$\eta = 1.7$ | x: 0 m<br>$\eta = 15.1$ | x: 0 m<br>$\eta < 0.1$ | $\eta < 0.1$                  | $\eta < 0.1$                  | x: 0 m<br>$\eta = 74.1$        | $\eta < 0.1$   | x: 5.114 m<br>$\eta = 0.2$ | x: 0 m<br>$\eta = 13.3$       | x: 0 m<br>$\eta < 0.1$ | <b>CUMPLE</b><br>$\eta = 74.1$ |
| <b>Notación:</b><br>$\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez<br>$\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida<br>N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción<br>N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión<br>M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y<br>M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z<br>V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z<br>V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y<br>M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados<br>M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados<br>NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados<br>NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados<br>M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión<br>M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados<br>M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados<br>x: Distancia al origen de la barra<br>η: Coeficiente de aprovechamiento (%) |   |  |                            |                             |                         |                        |                         |                        |                               |                               |                                |  |                            |                               |                        |                                |

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

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

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

$$\bar{\lambda} : \underline{1.54} \quad \checkmark$$

Donde:

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

**Clase :** 4

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

**A<sub>ef</sub> :** 116.10 cm

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub> :** 1350.42 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{16007.09} \text{ kN}$$

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{1350.42} \text{ kN}$$

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

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

Donde:

$I_y$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{74172.96} \text{ cm}^4$$

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

$$I_z : \underline{1564.38} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{54.58} \text{ cm}^4$$

$I_w$ : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{1248803.53} \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidad.

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

$G$ : Módulo de elasticidad transversal.

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

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

$$L_{ky} : \underline{9.800} \text{ m}$$

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

$$L_{kz} : \underline{4.900} \text{ m}$$

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

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

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

$$i_0 : \underline{25.03} \text{ cm}$$

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

Siendo:

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

$$i_y : \underline{24.77} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.60} \text{ cm}$$

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

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$72.17 \leq 335.08 \checkmark$$

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$$h_w : \underline{577.36} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

|   |  |
|---|--|
| <b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.                                 | <b>A<sub>w</sub></b> : <u>46.19</u> cm     |
| <b>A<sub>fc,ef</sub></b> : Área reducida del ala comprimida.          | <b>A<sub>fc,ef</sub></b> : <u>21.59</u> cm |
| <b>k</b> : Coeficiente que depende de la clase de la sección.         | <b>k</b> : <u>0.30</u>                     |
| <b>E</b> : Módulo de elasticidad.                                     | <b>E</b> : <u>210000</u> MPa               |
| <b>f<sub>yf</sub></b> : Límite elástico del acero del ala comprimida. | <b>f<sub>yf</sub></b> : <u>275.00</u> MPa  |

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.017} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.114 m del nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H3.

**N<sub>t,Ed</sub>**: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{N_{t,Ed}} : \underline{32.03} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción **N<sub>t,Rd</sub>** viene dada por:

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

$$\mathbf{N_{t,Rd}} : \underline{1904.05} \text{ kN}$$

Donde:

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

$$\mathbf{A} : \underline{72.70} \text{ cm}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

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

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.050} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.141} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.114 m del nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q+0.9·V(0°)H4+0.75·N(EI).

$$\mathbf{N}_{c,Ed}: \text{Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.} \quad \mathbf{N}_{c,Ed} : \underline{91.97} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $\mathbf{N}_{c,Rd}$  viene dada por:

$$\mathbf{N}_{c,Rd} = A_{ef} \cdot f_{yd} \quad \mathbf{N}_{c,Rd} : \underline{1840.02} \text{ kN}$$

Donde:

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

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

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$\mathbf{A}_{ef} : \underline{70.26} \text{ cm}$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f}_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f}_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma}_{M0} : \underline{1.05}$$

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

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

$$\mathbf{N}_{b,Rd} = \chi \cdot A_{ef} \cdot f_{yd} \quad \mathbf{N}_{b,Rd} : \underline{654.09} \text{ kN}$$

Donde:

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$\mathbf{A}_{ef} : \underline{70.26} \text{ cm}$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$\mathbf{f}_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\mathbf{f}_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>M1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\mathbf{\gamma}_{M1} : \underline{1.05}$$

**χ:** Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\mathbf{\chi}_y : \underline{0.83}$$

$$\mathbf{\chi}_z : \underline{0.36}$$

Siendo:

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

$$\mathbf{\phi}_y : \underline{0.83}$$

$$\mathbf{\phi}_z : \underline{1.79}$$

**α:** Coeficiente de imperfección elástica.

$$\mathbf{\alpha}_y : \underline{0.21}$$

$$\mathbf{\alpha}_z : \underline{0.34}$$

**λ̄:** Esbeltez reducida.

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

$$\mathbf{\bar{\lambda}}_y : \underline{0.74}$$

$$\mathbf{\bar{\lambda}}_z : \underline{1.46}$$

|   |   |
|---|---|
| $N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: | $N_{cr}$ : <u>900.35</u> kN             |
| $N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.                   | $N_{cr,y}$ : <u>3511.19</u> kN          |
| $N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.                   | $N_{cr,z}$ : <u>900.35</u> kN           |
| $N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.                                     | $N_{cr,T}$ : <u><math>\infty</math></u> |

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.665} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

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

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{106.41} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

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

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

$$M_{Ed}^- : \underline{177.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{266.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

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

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

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.017} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H2.

**M<sub>Ed</sub><sup>+</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^+} : \underline{0.87} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(270°)H1+0.75·N(EI).

**M<sub>Ed</sub><sup>-</sup>**: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{M_{Ed}^-} : \underline{0.81} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo **M<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

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

$$\mathbf{M_{c,Rd}} : \underline{50.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

**W<sub>pl,z</sub>**: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$\mathbf{W_{pl,z}} : \underline{191.00} \text{ cm}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

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

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.151} \quad \checkmark$$

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

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$\mathbf{V_{Ed}} : \underline{65.65} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

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

$$\mathbf{V_{c,Rd}} : \underline{435.49} \text{ kN}$$

Donde:

|  |   |
|--|---|
| <b>A<sub>v</sub></b> : Área transversal a cortante.                    | <b>A<sub>v</sub></b> : <u>28.80</u> cm    |
| $A_v = h \cdot t_w$  |   |
| Siendo:  |   |
| <b>h</b> : Canto de la sección.  | <b>h</b> : <u>360.00</u> mm               |
| <b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.                               | <b>t<sub>w</sub></b> : <u>8.00</u> mm     |
| <b>f<sub>vd</sub></b> : Resistencia de cálculo del acero.              | <b>f<sub>vd</sub></b> : <u>261.90</u> MPa |
| $f_{vd} = f_y / \gamma_{M0}$   |   |
| Siendo:  |   |
| <b>f<sub>y</sub></b> : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)       | <b>f<sub>y</sub></b> : <u>275.00</u> MPa  |
| <b>γ<sub>M0</sub></b> : Coeficiente parcial de seguridad del material. | <b>γ<sub>M0</sub></b> : <u>1.05</u>       |

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

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

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon \qquad \mathbf{41.83 < 64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez del alma. **λ<sub>w</sub>** : 41.83

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

**λ<sub>máx</sub>**: Esbeltez máxima. **λ<sub>máx</sub>** : 64.71

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$$

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

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

Siendo:

**f<sub>ref</sub>**: Límite elástico de referencia. **f<sub>ref</sub>** : 235.00 MPa

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1 \qquad \eta < \mathbf{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N17, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.05·Q+1.5·V(270°)H1+0.75·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V<sub>Ed</sub>** : 0.16 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>c,Rd</sub>** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \qquad V_{c,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

Donde:

**A<sub>v</sub>**: Área transversal a cortante. **A<sub>v</sub>** : 45.93 cm

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

Siendo:

**A**: Área de la sección bruta. **A** : 72.70 cm

**d**: Altura del alma. **d** : 334.60 mm

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma. **t<sub>w</sub>** : 8.00 mm

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero. **f<sub>yd</sub>** : 261.90 MPa

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

Siendo:

**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f<sub>y</sub>** : 275.00 MPa

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ<sub>M0</sub>** : 1.05

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

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \qquad \mathbf{65.65 \text{ kN} \leq 217.74 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q+0.9·V(180°)H2+0.75·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V<sub>Ed</sub>** : 65.65 kN

**V<sub>c,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V<sub>c,Rd</sub>** : 435.49 kN

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

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \qquad \mathbf{0.16 \text{ kN} \leq 347.27 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 1.05 \cdot Q + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed} : \underline{0.16} \text{ kN}$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.718} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.741} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.542} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N17, para la combinación de acciones  
 $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.  $N_{c,Ed} : \underline{77.55} \text{ kN}$   
 $M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{y,Ed} : \underline{177.37} \text{ kN}\cdot\text{m}$   
 $M_{z,Ed} : \underline{0.63} \text{ kN}\cdot\text{m}$   
**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. **Clase** : 1  
 $N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.  $N_{pl,Rd} : \underline{1904.05} \text{ kN}$   
 $M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.  $M_{pl,Rd,y} : \underline{266.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$   
 $M_{pl,Rd,z} : \underline{50.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

**A**: Área de la sección bruta.  $A : \underline{72.70} \text{ cm}$   
 $W_{pl,y}, W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.  $W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}$   
 $W_{pl,z} : \underline{191.00} \text{ cm}$   
 $f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$

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

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$   
 $\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

$k_y, k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.03}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.16}$$

$C_{m,y}, C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.  $C_{m,y} : \underline{1.00}$   
 $C_{m,z} : \underline{1.00}$

$\chi_y, \chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.  $\chi_y : \underline{0.82}$   
 $\chi_z : \underline{0.35}$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.  $\bar{\lambda}_y : \underline{0.75}$   
 $\bar{\lambda}_z : \underline{1.49}$

$\alpha_y, \alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.  $\alpha_y : \underline{0.60}$   
 $\alpha_z : \underline{0.60}$

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad 65.65 \text{ kN} \leq 217.73 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{Ed,z} : \underline{65.65} \text{ kN}$   
 $V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd,z} : \underline{435.45} \text{ kN}$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 5.114 m del nudo N17, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$ .

$M_{T,Ed}$ : 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:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd} \quad M_{T,Rd} : \underline{4.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$$W_T : \text{Módulo de resistencia a torsión.} \quad W_T : \underline{29.37} \text{ cm}$$

$$f_{yd} : \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$\gamma_{M0} : \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.133} \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N17, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$$V_{Ed} : \text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.} \quad V_{Ed} : \underline{57.76} \text{ kN}$$

$$M_{T,Ed} : \text{Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.} \quad M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd} \quad V_{pl,T,Rd} : \underline{435.45} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} : \text{Esfuerzo cortante resistente de cálculo.} \quad V_{pl,Rd} : \underline{435.49} \text{ kN}$$

$$\tau_{T,Ed} : \text{Tensiones tangenciales por torsión.} \quad \tau_{T,Ed} : \underline{0.03} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

$$W_T : \text{Módulo de resistencia a torsión.} \quad W_T : \underline{29.37} \text{ cm}$$

$$f_{yd} : \text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

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

$$\gamma_{M0} : \text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N17, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q + 0.9 \cdot V(270^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

**V<sub>Ed</sub>**: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.15} \text{ kN}$$

**M<sub>T,Ed</sub>**: 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<sub>pl,T,Rd</sub>** viene dado por:

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{694.48} \text{ kN}$$

Donde:

**V<sub>pl,Rd</sub>**: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

**τ<sub>T,Ed</sub>**: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.03} \text{ MPa}$$

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

Siendo:

**W<sub>T</sub>**: Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{29.37} \text{ cm}$$

**f<sub>yd</sub>**: Resistencia de cálculo del acero.

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

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

Siendo:

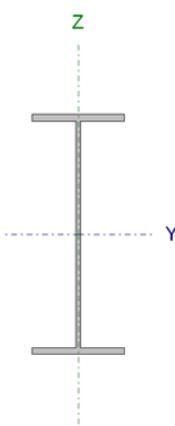
**f<sub>y</sub>**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

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

**γ<sub>M0</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

## 1.10 Pilar interior pórtico de fachada

| Perfil: IPE 550<br>Material: Acero (S275)  |         |          |              |                          |  |  |
|--|---------|----------|--------------|--------------------------|--|--|
|   | Nudos   |          | Longitud (m) | Características mecánica |  |  |
|  | Inicial | Final    |              | Área (cm <sup>2</sup> )  | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> ) |
|  | N3      | N4       | 7.000        | 134.00                   | 67120.00   | 2668.00  |
| <b>Notas:</b><br>(1) Inercia respecto al eje indicado<br>(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 <sub>K</sub>   | 4.900   | 4.900    | 0.000        | 0.000                    |  |  |
| C <sub>m</sub>   | 1.000   | 1.000    | 1.000        | 1.000                    |  |  |
| C <sub>1</sub>   | -       |          | 1.000        |                          |  |  |
| <b>Notación:</b><br>β: Coeficiente de pandeo<br>L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m)<br>C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos<br>C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico |         |          |              |                          |  |  |

| Barra   | COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)    |  |                       |                   |                    |                    |                |                   |                               |                               |                                |  |                |                               |                               | Estado                    |
|---|---------------------------------|--|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
|   | $\bar{\lambda}$                 | $\lambda_w$  | N <sub>t</sub>        | N <sub>c</sub>    | M <sub>y</sub>     | M <sub>z</sub>     | V <sub>z</sub> | V <sub>y</sub>    | M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> | NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> | NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>t</sub> | M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> |                           |
| N3/N4   | $\bar{\lambda} < 2.0$<br>Cumple | $\lambda_w \leq \lambda_{w,m\acute{a}x}$<br>Cumple | x: 6.859 m<br>η = 0.8 | x: 0 m<br>η = 6.1 | x: 0 m<br>η = 12.0 | x: 0 m<br>η = 53.0 | η = 2.0        | x: 0 m<br>η = 3.1 | η < 0.1                       | η < 0.1                       | x: 0 m<br>η = 65.7             | η < 0.1  | η = 0.1        | η = 1.1                       | x: 0 m<br>η = 0.9             | <b>CUMPLE</b><br>η = 65.7 |
| <b>Notación:</b><br>$\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez<br>$\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida<br>N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción<br>N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión<br>M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y<br>M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z<br>V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z<br>V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y<br>M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados<br>M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados<br>NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados<br>NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados<br>M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión<br>M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados<br>M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados<br>x: Distancia al origen de la barra<br>η: Coeficiente de aprovechamiento (%) |                                 |  |                       |                   |                    |                    |                |                   |                               |                               |                                |  |                |                               |                               |                           |

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

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

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

$$\bar{\lambda} : \underline{1.20} \quad \checkmark$$

Donde:

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

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

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$A_{ef} : \underline{125.98} \text{ cm}$$

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{2303.10} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,v} : \underline{57940.04} \text{ kN}$$

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

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{2303.10} \text{ kN}$$

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

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

Donde:

**I<sub>y</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{67120.00} \text{ cm}^4$$

**I<sub>z</sub>**: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{2668.00} \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{123.00} \text{ cm}^4$$

**I<sub>w</sub>**: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{1884000.00} \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidad.

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

**G**: Módulo de elasticidad transversal.

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

**L<sub>ky</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{4.900} \text{ m}$$

**L<sub>kz</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{4.900} \text{ m}$$

**L<sub>kt</sub>**: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

**i<sub>0</sub>**: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{22.82} \text{ cm}$$

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

Siendo:

**i<sub>y</sub>**, **i<sub>z</sub>**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{22.38} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{4.46} \text{ cm}$$

**y<sub>0</sub>**, **z<sub>0</sub>**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$46.45 \leq 299.25 \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

$$h_w : \underline{515.60} \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>**: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{11.10} \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>**: Área del alma.

$$A_w : \underline{57.23} \text{ cm}$$

**A<sub>fc,ef</sub>**: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{36.12} \text{ cm}$$