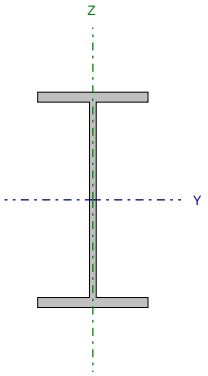
## Comprobación de resistencia

| Comprobación de resistencia |
|---|
| El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. |
| Aprovechamiento: 78.03 % |

### Barra pésima en cubierta

**Perfil: IPE 160**
**Material: S275**




| Nudos | | Longitud (m) | Características mecánicas | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Inicial | Final | | Área (cm²) | $I_y$ [1] (cm4) | $I_z$ [1] (cm4) | $I_t$ [2] (cm4) |
| 11.008, 0.000, 7.124 | 11.008, 5.000, 7.124 | 5.000 | 20.10 | 869.30 | 68.31 | 3.60 |

*Notas:*
*[1] Inercia respecto al eje indicado*
*[2] Momento de inercia a torsión uniforme*

| | Pandeo | | Pandeo lateral | |
|---|---|---|---|---|
| | Plano XY | Plano XZ | Ala sup. | Ala inf. |
| β | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 |
| $L_K$ | 0.000 | 5.000 | 0.000 | 5.000 |
| $C_m$ | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.492 |
| $C_1$ | - | | 1.000 | |

*Notación:*
*b: Coeficiente de pandeo*
*$L_K$: Longitud de pandeo (m)*
*$C_m$: Coeficiente de momentos*
*$C_1$: Factor de modificación para el momento crítico*

| Barra | COMPROBACIONES (CTE DB SE-A) | | | | | | | | | | | | | | | Estado |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{\lambda}$ | $\lambda_w$ | $N_t$ | $N_c$ | $M_y$ | $M_z$ | $V_z$ | $V_y$ | $M_yV_z$ | $M_zV_y$ | $NM_yM_z$ | $NM_yM_zV_yV_z$ | $M_t$ | $M_yV_z$ | $M_yV_y$ | |
| pésima en cubierta | N.P.[1] | x: 0.833 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ | $N_{Ed}$ = 0.00 N.P.[2] | $N_{Ed}$ = 0.00 N.P.[3] | x: 5 m η = 78.0 | $M_{Ed}$ = 0.00 N.P.[4] | x: 5 m η = 7.1 | $V_{Ed}$ = 0.00 N.P.[5] | x: 0.833 m η < 0.1 | N.P.[6] | N.P.[7] | N.P.[8] | $M_{Ed}$ = 0.00 N.P.[9] | N.P.[10] | N.P.[10] | CUMPLE h = 78.0 |

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

*Comprobaciones que no proceden (N.P.):*
*[1] La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.*
*[2] La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.*
*[3] La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.*
*[4] La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.*
*[5] La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.*
*[6] No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*
*[7] No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*
*[8] No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*
*[9] La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.*
*[10] 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 comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

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

Se debe satisfacer:

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

29.04 £ 250.58 ✓

Donde:

| | | | |
|---|---|---|---|
| $h_w$: Altura del alma. | $h_w$ : | 145.20 | mm |
| $t_w$: Espesor del alma. | $t_w$ : | 5.00 | mm |
| $A_w$: Área del alma. | $A_w$ : | 7.26 | cm² |
| $A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida. | $A_{fc,ef}$ : | 6.07 | cm² |
| k: Coeficiente que depende de la clase de la sección. | k : | 0.30 | |
| E: Módulo de elasticidad. | E : | 210000 | MPa |
| $f_{yf}$: Límite elástico del acero del ala comprimida. | $f_{yf}$ : | 275.0 | MPa |

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

h : 0.264 ✓

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

h : 0.780 ✓

Para flexión positiva:

$M_{Ed}^{+}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{Ed}^{+}$ : 0.00 kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 11.008, 5.000, 7.124, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*Q.

$M_{Ed}^{-}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. $M_{Ed}^{-}$ : 8.56 kN·m

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

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

$M_{c,Rd}$ : 32.45 kN·m

Donde:

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

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$ : 123.90 cm³

$f_{yd}$: Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd}$ : 261.9 MPa

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

Siendo:

$f_y$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y$ : 275.0 MPa

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

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

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

$$\mathbf{M^{+}_{b,Rd}} = \chi_{LT} \cdot W^{+}_{pl,y} \cdot f_{yd}$$ $M_{b,Rd}^{+}$ : 32.45 kN·m

$$\mathbf{M^{-}_{b,Rd}} = \chi_{LT} \cdot W^{-}_{pl,y} \cdot f_{yd}$$ $M_{b,Rd}^{-}$ : 10.96 kN·m

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$ : 123.90 cm³

$f_{yd}$: Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd}$ : 261.9 MPa

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

Siendo:

$f_y$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y$ : 275.0 MPa

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

$c_{LT}$: Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi^2_{LT} - \bar{\lambda}^2_{LT}}} \leq 1$$

$c_{LT}^{+}$ : 1.00

$c_{LT}^{-}$ : 0.34

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot \left(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2\right) + \bar{\lambda}^2_{LT}\right]$$

$f_{LT}^{+}$ : 0.00

$f_{LT}^{-}$ : 1.91

$a_{LT}$: Coeficiente de imperfección elástica. $a_{LT}$ : 0.21

`l $_{LT}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}^{+}_{LT} = \sqrt{\frac{W^{+}_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$ `l $_{LT}^{+}$ : 0.00

$$\bar{\lambda}^{-}_{LT} = \sqrt{\frac{W^{-}_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$ `l $_{LT}^{-}$ : 1.59

$M_{cr}$: Momento crítico elástico de pandeo lateral. $M_{cr}^{+}$ : ∞

$M_{cr}^{-}$ : 13.52 kN·m

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

$$\mathbf{M_{cr}} = \sqrt{M^2_{LTv} + M^2_{LTw}}$$

Siendo:

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

$$\mathbf{M_{LTv}} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$M_{LTv}^{+}$ : ∞

$M_{LTv}^{-}$ : 12.85 kN·m

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

$$\mathbf{M_{LTw}} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L^2_c} \cdot C_1 \cdot i^2_{f,z}$$

$M_{LTw}^{+}$ : ∞

$M_{LTw}^{-}$ : 4.21 kN·m

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida. $W_{el,y}$ : 108.66 cm³

$I_z$: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. $I_z$ : 68.31 cm4

$I_t$: Momento de inercia a torsión uniforme. $I_t$ : 3.60 cm4

E: Módulo de elasticidad. E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. G : 81000 MPa

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $L_c^+$: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior. | $L_c^+$ | : | 0.000 | m |
| $L_c^-$: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior. | $L_c^-$ | : | 5.000 | m |
| $C_1$: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra. | $C_1$ | : | 1.00 | |
| $i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida. | $i_{f,z}^+$ | : | 2.16 | cm |
| | $i_{f,z}^-$ | : | 2.16 | cm |

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

h : 0.071 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 11.008, 5.000, 7.124, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*Q.

$V_{Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed}$ : 8.56 kN

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

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

$V_{c,Rd}$ : 120.97 kN

Donde:

$A_v$: Área transversal a cortante. $A_v$ : 8.00 cm²

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

Siendo:

h: Canto de la sección. h : 160.00 mm

$t_w$: Espesor del alma. $t_w$ : 5.00 mm

$f_{yd}$: Resistencia de cálculo del acero. $f_{yd}$ : 261.9 MPa

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

Siendo:

$f_y$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y$ : 275.0 MPa

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

$$\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{t_w}} < 70 \cdot \varepsilon$$

29.04 < 64.71

Donde:

$l_w$: Esbeltez del alma. $l_w$ : 29.04

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

$l_{máx}$: Esbeltez máxima. $l_{máx}$ : 64.71

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

e: Factor de reducción. e : 0.92

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

Siendo:

$f_{ref}$: Límite elástico de referencia. $f_{ref}$ : 235.0 MPa

$f_y$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $f_y$ : 275.0 MPa

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

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

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

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

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2} \qquad 0.291 \leq 6.166$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.833 m del nudo 11.008, 0.000, 7.124, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*Q.

| | | | |
|---|---|---|---|
| $V_{Ed}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. | $V_{Ed}$ : | *2.85* | kN |
| $V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. | $V_{c,Rd}$ : | *120.97* | kN |

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Comprobación de flecha

| Comprobación de flecha |
| --- |
| El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. |
| Porcentajes de aprovechamiento: |
| - Flecha: 26.88 % |

Coordenadas del nudo inicial: 0.992, 45.000, 8.376
Coordenadas del nudo final: 0.992, 50.000, 8.376
El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis 1.00*G1 + 1.00*G2 + 1.00*V(0°) H1 a una distancia 2.500 m del origen en el segundo vano de la correa.
(Iy = 869 cm4) (Iz = 68 cm4)