Millora d’accés amb rampa fins al pont de l’Av. Canal Olímpic

AMB

Municipi
Castelldefels

Tipus d’actuació
Urbanització

Expedient
900965/24

Data
Abril 2025

Tipus de document
Projecte d’Execució

Gestió
Direcció de Serveis de l’Espai Públic

Redacció de projecte
Direcció de Serveis de l’Espai Públic

Relació de documents i volums

01-07. Memòria i Annexos
08-10. Plànols
11-13. Plec de Prescripcions Tècniques
14. Pressupost

03/14 Volums

Índex de volums

D1 Memòria i annexos

01-07

01
Memòria
Annex 01. Antecedents, àmbit d'actuació i situació prèvia
Annex 02. Planejament
Annex 03. Topografia
Annex 04. Geologia i geotècnia
~~Annex 05. Definició geomètrica i replanteig~~
Annex 06. Moviment de terres
~~Annex 07. Climatologia, hidrologia i drenatge~~
~~Annex 08. Xarxa de clavegueram~~
~~Annex 09. Canalitzacions i desviaments de cursos naturals d'aigua~~
Annex 10. Ferms i paviments
Annex 11. Estructures i murs

02
Annex 11. Estructures i murs

03
Annex 11. Estructures i murs

04
Annex 11. Estructures i murs
Annex 12. Enllumenat
Annex 13. Xarxa de reg i abastament d'aigua pel reg
Annex 14. Plantacions
~~Annex 15. Senyalització, abalisament i seguretat vial~~
~~Annex 16. Semaforització~~
Annex 17. Serveis existents. Serveis afectats. Nous subministraments i instal•lacions de serveis

05
Annex 17. Serveis existents. Serveis afectats. Nous subministraments i instal•lacions de serveis
~~Annex 18. Expropiacions, ocupacions temporals, restitució de dreta reals i servituds~~
Annex 19. Autoritzacions i concessions
Annex 20. Pla de control de qualitat

06
Annex 20. Pla de control de qualitat
Annex 21. Estudi de seguretat i salut
Annex 22. Aspectes ambientals
Annex 23. Estudi de gestió de residus de construcció i demolició
Annex 24. Accessibilitat
~~Annex 25. Desviaments de trànsit i fases d'execució i d'accessibilitat durant les obres~~
Annex 26. Pla d'obra
Annex 27. Justificació de preus

07
Annex 27. Justificació de preus
Annex 28. Pla de consum i manteniment de l'obra acabada
Annex 29. Pressupost per al coneixement de l'Administració
Annex 30. Fitxa resum de les característiques del projecte
Annex 31. BEP (Pla d'Execució BIM)
Annex 32. Cales

D2 Plànols

08-10

08
Llistat de plànols
SG. Situació general
EN. Enderrocs i elements a retirar
DG. Definició geomètrica

09
DG. Definició geomètrica
PV. Paviments i confinaments
EM. Estructures i murs
EP. Enllumenat
XR. Xarxa de reg

10
XR. Xarxa de reg
PL. Plantacions
MU. Mobiliari urbà i tancaments
SE. Serveis existents, serveis afectats i nous subministraments
AP. Altres plànols

D3 Plec de prescripcions tècniques

11-13

11
01.Plec de prescripcions tècniques generals
02.Plec de prescripcions tècniques particulars

12
02.Plec de prescripcions tècniques particulars

13
02.Plec de prescripcions tècniques particulars

D4 Pressupost

14

14
01. Amidaments
02. Estadística de partides
03. Quadre de preus nº1
04. Quadre de preus nº2
05. Pressupost
06. Resum de pressupost
07. Últim full

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim V_{Ed} no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $V_{c,Rd}$.

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

4.58 kN ≤ 242.24 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V2+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 4.58 kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $V_{c,Rd}$: 484.48 kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim V_{Ed} no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $V_{c,Rd}$.

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

16.95 kN ≤ 138.06 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VC.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 16.95 kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $V_{c,Rd}$: 276.11 kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}}\right]^{\beta} \leq 1$$

η : **0.016** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : **0.693** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : **0.894** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N89, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. $N_{c,Ed}$: 685.84 kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament. $M_{y,Ed}^+$: 3.17 kN·m; $M_{z,Ed}^+$: 3.99 kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. **Classe** : 1

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Moments resistents plàstics reduïts a causa de l'esforç axial, segons els eixos Y i Z, respectivament. $M_{N,Rd,y}$: 52.76 kN·m; $M_{N,Rd,z}$: 22.90 kN·m

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1-1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

α : 2.393
β : 2.393

Essent:

$$n = N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}$$

n : 0.521

$N_{pl,Rd}$: Resistència a compressió de la secció bruta. $N_{pl,Rd}$: 1317.38 kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. $M_{pl,Rd,y}$: 82.54 kN·m; $M_{pl,Rd,z}$: 40.97 kN·m

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \leq 0.5$$

a_w : 0.50

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w)/A \leq 0.5$$

a_f : 0.28

A: Àrea de la secció bruta. **A** : 50.30 cm²
b: Ample total de la secció. **b** : 8.30 cm
h: Cantell de la secció. **h** : 200.00 mm
t_f: Espessor de l'ala. t_f : 11.00 mm
t_w: Gruix de l'ànima. t_w : 9.00 mm

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. **A** : 50.30 cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. $W_{pl,y}$: 315.14 cm³; $W_{pl,z}$: 156.44 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M1} : 1.05

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : 1.01

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$ **Kyz** : *0.92*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$ **Kzy** : *0.62*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$ **Kzz** : *1.21*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$ **μy** : *0.99*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$ **μz** : *0.89*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ **Cyy** : *1.05*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ **Cyz** : *0.87*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ **Czy** : *0.95*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ **Czz** : *1.02*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ **aLT** : *0.43*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ **bLT** : *0.00*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **cLT** : *0.00*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ **dLT** : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **eLT** : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ **wy** : *1.27*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ **wz** : *1.19*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ **npl** : *0.52*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$$ **0.00** ≤ **0.18**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$ **Cm,y** : *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ **Cm,z** : *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$ **Cm,LT** : *1.00*

Cm,y,0, Cm,z,0: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. **Cm,y,0** : *1.00* **Cm,z,0** : *1.00*

C1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. **C1** : *1.00*

χy, χz: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. **χy** : *0.92* **χz** : *0.69*

χLT: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. **χLT** : *1.00*

λ̄màx: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. **λ̄màx** : *0.75*

λ̄y, λ̄z: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. **λ̄y** : *0.35* **λ̄z** : *0.75*

λ̄LT: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. **λ̄LT** : *0.00*

λ̄0: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme. **λ̄0** : *0.00*

Wel,y, Wel,z: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. **Wel,y** : *247.85* cm³ **Wel,z** : *131.47* cm³

Ncr,y: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y. **Ncr,y** : *11112.85* kN

Ncr,z: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z. **Ncr,z** : *2446.42* kN

Iy: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **Iy** : *2478.47* cm4

It: Mòdul de torsió uniforme **It** : *1422.76* cm4

<u>Resistència a flexió, axial i tallant combinats</u> (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim **VEd** és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul **Vc,Rd**.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VC+0.75·N1.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$ **16.94 kN** ≤ **137.60 kN** ✓

On:

$V_{Ed,y}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $V_{Ed,y}$: 16.94 kN

$V_{c,Rd,y}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $V_{c,Rd,y}$: 275.20 kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$

η : **0.008** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.32 kN·m

El moment torçor resistent de càlcul T_{Rd} ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, f_y / \gamma_{M0}$$

T_{Rd} : 38.07 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 251.75 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.016** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en un punt situat a una distància de 0.491 m del nus N90, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V2+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 7.61 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.28 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = [1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}] V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 480.90 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 484.48 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 1.12 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 251.75 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.093** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en un punt situat a una distància de 1.927 m del nus N90, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 25.55 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.27 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = [1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}] V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 274.51 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 276.11 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 0.88 MPa

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

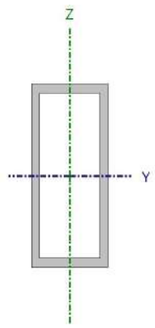
Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 307.69 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Perfil: 200x83-9-11
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

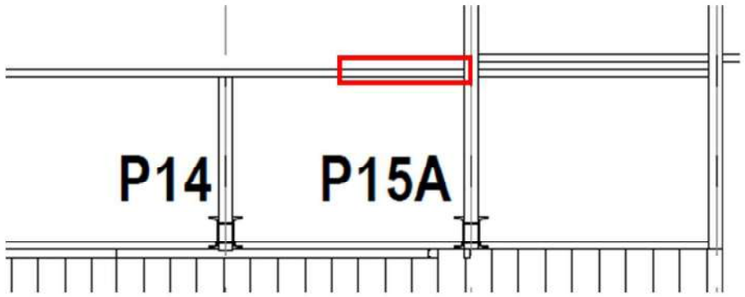


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques			
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N400	N48	1.377	50.30	2478.47	545.62	1422.76

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	1.375	1.375	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

$$\frac{h_w}{t_w} \le k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

19.78 ≤ 429.16 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima	h_w : 178.00	mm
t_w: Gruix de l'ànima.	t_w : 9.00	mm
A_w: Àrea de l'ànima.	A_w : 32.04	cm²
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida.	A_{fc} : 9.13	cm²
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció.	**k** : 0.30	
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.	**E** : 210000	MPa
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida.	f_{yf} : 275.00	MPa

Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.325*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.297 m del nus N400, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T2+0.9·V3+0.9·VB.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — **N_{Ed}** : 427.52 kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: 1317.38 kN

On:

A: Àrea de la secció transversal.	**A** : 50.30	cm²
f_y: Límit elàstic.	**f_y** : 275.00	MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.	**γ_{M0}** : 1.05	

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.660*** ✓

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

η : ***0.773*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N400, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : 869.19 kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: 1317.38 kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció. — **Classe** : 1

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : 50.30 cm²

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)

La resistència de càlcul a vinclament $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida ve donada per:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$N_{b,Rd}$: 1124.53 kN

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : 50.30 cm²

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

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

χ_y : 0.99

χ_z : 0.85

Essent:

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

ϕ_y : 0.53

ϕ_z : 0.68

α: Coeficient d'imperfecció.

α_y : 0.49

α_z : 0.49

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda.

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

$\bar{\lambda}_y$: 0.23

$\bar{\lambda}_z$: 0.48

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. — N_{cr} : 5981.39 kN

L'axial crític de vinclament elàstic N_{cr} és el menor dels valors obtinguts en a), b) i c)

a) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Y. — $N_{cr,y}$: 27170.45 kN

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

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z. — $N_{cr,z}$: 5981.39 kN

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

c) Axial crític elàstic de vinclament per torsió. — $N_{cr,T}$: ∞

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

On:

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. — I_y : 2478.47 cm4

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. — I_z : 545.62 cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme — I_t : 1422.76 cm4

I_w: Constant de guerxesa de la secció. — I_w : 0.00 cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : 210000 MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. — **G** : 81000 MPa

L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y. — L_{ky} : 1.375 m

L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z. — L_{kz} : 1.375 m

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. — L_{kt} : 0.000 m

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. — i_0 : 7.75 cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. — i_y : 7.02 cm; i_z : 3.29 cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. — y_0 : 0.00 mm; z_0 : 0.00 mm

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.188** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N48, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : 15.49 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N48, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q6+0.9·T2+1.5·V3+1.5·VB.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : 3.26 kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 82.54 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : 1

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,y}$: 315.14 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.055*** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N48, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+0.9·T2+1.5·V3+1.5·VB.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^+ : *1.95* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N48, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^- : *2.24* kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *40.97* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : *1*

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. $W_{pl,z}$: *156.44* cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.042*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N48, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *20.50* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *484.48* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : *32.04* cm²

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Essent:

d: Alçada de l'ànima. **d** : *178.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : *9.00* mm

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Abonyegament per tallant de l'ànima: (Codi estructural, Article A25.5)

Encara que no s'han disposat enrigidors transversals, no és necessari comprovar la resistència a l'abonyegament de l'ànima, ja que es complix:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

19.78 < **55.46** ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima. λ_w : *19.78*

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

$\lambda_{màx}$: Esveltesa màxima. $\lambda_{màx}$: *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material. η : *1.20*

ε: Factor de reducció. ε : *0.92*

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

Essent:

f_{ref}: Límit elàstic de referència. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.024** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.985 m del nus N400, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *6.74* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$** ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *276.11* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. **A_v** : *18.26* cm²

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *50.30* cm²
d: Alçada de l'ànima. **d** : *178.00* mm
t_w: Gruix de l'ànima. **t_w** : *9.00* mm

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Abonyegament per tallant de l'ànima: (Codi estructural, Article A25.5)
Encara que no s'han disposat enrigidors transversals, no és necessari comprovar la resistència a l'abonyegament de l'ànima, ja que es complix:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

7.55 < **55.46** ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima. **λ_w** : *7.55*

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{màx}$: Esveltesa màxima. **$\lambda_{màx}$** : *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material. **η** : *1.20*
ε: Factor de reducció. **ε** : *0.92*

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

Essent:

f_{ref}: Límit elàstic de referència. **f_{ref}** : *235.00* MPa
f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)
No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim **V_{Ed}** no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant **$V_{c,Rd}$**.

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

7.98 kN ≤ **242.24 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *7.98* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd}$** : *484.48* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)
No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim **V_{Ed}** no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant **$V_{c,Rd}$**.

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

0.05 kN ≤ **138.06 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *0.05* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd}$** : *276.11* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)
S'ha de satisfer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}}\right]^{\beta} \le 1$$

η : **0.035** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$

η : **0.796** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$

η : **0.856** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N48, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *818.12* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament. — **$M_{y,Ed}^+$** : *13.26* kN·m; **$M_{z,Ed}^-$** : *1.75* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. — **Classe** : *1*

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Moments resistents plàstics reduïts a causa de l'esforç axial, segons els eixos Y i Z, respectivament. — **$M_{N,Rd,y}$** : *41.71* kN·m; **$M_{N,Rd,z}$** : *18.10* kN·m

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_w) \le M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_f) \le M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1-1.13 \cdot n^2} \le 6$$

α : *2.942*; **β** : *2.942*

Essent:

$$n = N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}$$

n : *0.621*

$N_{pl,Rd}$: Resistència a compressió de la secció bruta. — **$N_{pl,Rd}$** : *1317.38* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. — **$M_{pl,Rd,y}$** : *82.54* kN·m; **$M_{pl,Rd,z}$** : *40.97* kN·m

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \le 0.5$$

a_w : *0.50*

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w)/A \le 0.5$$

a_f : *0.28*

A: Àrea de la secció bruta. — **A** : *50.30* cm²
b: Ample total de la secció. — **b** : *8.30* cm
h: Cantell de la secció. — **h** : *200.00* mm
t_f: Espessor de l'ala. — **t_f** : *11.00* mm
t_w: Gruix de l'ànima. — **t_w** : *9.00* mm

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. — **A** : *50.30* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — **$W_{pl,y}$** : *315.14* cm³; **$W_{pl,z}$** : *156.44* cm³

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : *0.87*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

K_{yz} : *0.62*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

K_{zy} : *0.53*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : *1.01*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1-\chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1-\chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *0.98*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2\right) \cdot n_{pl} - b_{LT}\right] \ge \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{yy} : *1.19*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right) \cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : *1.08*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right) \cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : *1.17*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right) \cdot n_{pl}\right] \ge \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : *1.12*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \ge 0$$

a_{LT} : *0.43*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : *0.00*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : *0.00*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \le 1.5$$

w_y : *1.27*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \le 1.5$$

w_z : *1.19*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

n_{pl} : *0.62*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \le 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$$

0.00 ≤ **0.19**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$

$C_{m,y}$: *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$

$C_{m,z}$: *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$

$C_{m,LT}$: *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent.

$C_{m,y,0}$: *1.00*
$C_{m,z,0}$: *1.00*

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

C_1 : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

χ_y : *0.99*
χ_z : *0.85*

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional.

χ_{LT} : *1.00*

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$.

$\bar{\lambda}_{màx}$: *0.48*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

$\bar{\lambda}_y$: *0.23*
$\bar{\lambda}_z$: *0.48*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.00*

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme.

$\bar{\lambda}_0$: *0.00*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

$W_{el,y}$: *247.85* cm³
$W_{el,z}$: *131.47* cm³

$N_{cr,y}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y.

$N_{cr,y}$: *27170.45* kN

$N_{cr,z}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z.

$N_{cr,z}$: *5981.39* kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.

I_y : *2478.47* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_t : *1422.76* cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim V_{Ed} és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

$$V_{Ed,z} \le \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

7.98 kN ≤ **231.44 kN** ✓

On:

$V_{Ed,z}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

$V_{Ed,z}$: *7.98* kN

$V_{c,Rd,z}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant.

$V_{c,Rd,z}$: *462.88* kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \le 1,0$$

η : ***0.055*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals.

T_{Ed} : *2.08* kN·m

El moment torçor resistent de càlcul T_{Rd} ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, f_y / \gamma_{M0}$$

T_{Rd} : *38.07* kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

W_T : *251.75* cm³

f_y: Límit elàstic.

f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \le 1$$

η : ***0.045*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N48, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

V_{Ed} : *20.50* kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals.

T_{Ed} : *2.06* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = [1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}] V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *458.27* kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.

$V_{pl,Rd}$: *484.48* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió.

$\tau_{t,Ed}$: *8.18* MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

W_T : *251.75* cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.025*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en un punt situat a una distància de 0.985 m del nus N400, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *6.74* kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : *1.96* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = [1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}]V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *264.49* kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: *276.11* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *6.37* MPa

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

Essent:

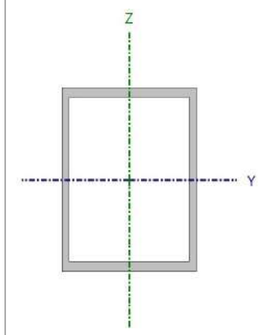
W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : *307.69* cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Barra N2/N41

Perfil: UPN 220, Doble en caixó soldat (Cordó discontinu)
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

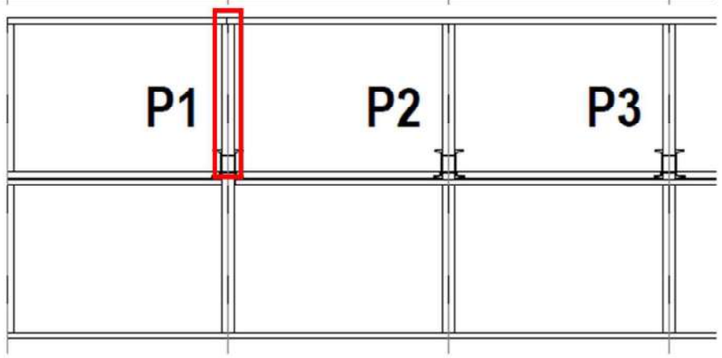


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques			
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N2	N41	2.110	74.80	5380.00	2962.60	32.00

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.110	2.110	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Nota: L'anàlisi de peces compostes es realitza mitjançant la verificació de cadascun dels perfils simples que les constitueixen. Les comprovacions d'aquests perfils es realitzen per als esforços calculats a partir dels quals actuen sobre la peça composta, segons les seves característiques mecàniques. Per a les comprovacions d'estabilitat s'utilitza la esveltesa mecànica ideal, obtinguda en funció de la esveltesa de la peça i una esveltesa complementària que té en compte la separació dels enllaços entre els perfils simples.

Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

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

21.67 ≤ 303.49 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima h_w : *195.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : *9.00* mm

A_w: Àrea de l'ànima. A_w : *17.55* cm²

A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. A_{fc} : *10.00* cm²

k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. **k** : *0.30*

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. **E** : *210000* MPa

f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. **f_{yf}** : *275.00* MPa

Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.255*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.055 m del nus N2, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T2+0.9·V3+0.9·VB.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. **N_{Ed}** : *249.30* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *979.52* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. **A** : *37.40* cm²

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.539*** ✓

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

η : ***0.596*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.703 m del nus N2, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. **$N_{c,Ed}$** : *528.36* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *979.52* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció. **Classe** : *1*

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : *37.40* cm²

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)

La resistència de càlcul a vinclament **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida ve donada per:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$N_{b,Rd}$: *886.36* kN

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : *37.40* cm²

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

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

χ_{FT} : *0.90*

Essent:

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

ϕ_{FT} : *0.62*

α_{FT}: Coeficient d'imperfecció. **α_{FT}** : *0.49*

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda.

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

$\bar{\lambda}_{FT}$: *0.39*

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. **N_{cr}** : *6916.11* kN

La tensió crítica elàstica de vinclament σ_{cr} és el valor de la menor de les arrels de la següent equació cúbica:

$$i_0^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}\right) \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}\right) \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}\right) - \sigma_{cr}^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}\right) \cdot y_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr}\right.$$

σ_{cr} : *1849.23* MPa

On:

$\sigma_{cr,y}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y. **$\sigma_{cr,y}$** : *3348.38* MPa

$\sigma_{cr,z}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z. **$\sigma_{cr,z}$** : *1849.23* MPa

$\sigma_{cr,T}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta. **$\sigma_{cr,T}$** : ∞

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **I_y** : *5380.00* cm⁴

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. **I_z** : *2962.60* cm⁴

I_t: Mòdul de torsió uniforme **I_t** : *32.00* cm⁴

I_w: Constant de guerxesa de la secció. — I_w : 0.00 cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — E : 210000 MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. — G : 81000 MPa

λ_y: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Y, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació. — λ_y : 24.9

λ_z: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Z, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació. — λ_z : 33.5

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. — L_{kt} : 0.000 m

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. — i_0 : 10.56 cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. — i_y : 8.48 cm; i_z : 6.29 cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. — y_0 : 0.00 m; z_0 : 0.00 m

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.369** ✓

Per flexió positiva:

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : 0.00 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N2, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : 28.20 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 76.48 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : 1

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,y}$: 292.00 cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.005** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N2, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : 0.08 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N2, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VA.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : 0.04 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 16.79 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : 1

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,z}$: 64.10 cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.092** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N2, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : 27.98 kN

L'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$** ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 303.74 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : 20.09 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$$

Essent:

A: Àrea de la secció transversal. A : 37.40 cm²

b: Ample total de la secció. b : 80.00 mm

t_f: Espessor de l'ala. t_f : 12.50 mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : 9.00 mm

r: Radi d'acord entre ala i ànima. r : 12.50 mm

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Abonyegament per tallant de l'ànima: (Codi estructural, Article A25.5)

Encara que no s'han disposat enrigidors transversals, no és necessari comprovar la resistència a l'abonyegament de l'ànima, ja que es complix:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

21.67 < **55.46** ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima. λ_w : 21.67

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

$\lambda_{màx}$: Esveltesa màxima. $\lambda_{màx}$: 55.46

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material. η : 1.20

ε: Factor de reducció. ε : 0.92

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

Essent:

f_{ref}: Límit elàstic de referència. f_{ref} : 235.00 MPa

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.008*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N2, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 2.41 kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 300.15 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : 19.85 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. A : 37.40 cm²

d: Alçada de l'ànima. d : 195.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : 9.00 mm

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim V_{Ed} no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $V_{c,Rd}$.

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

27.98 kN ≤ **151.87 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 27.98 kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $V_{c,Rd}$: 303.74 kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim V_{Ed} no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $V_{c,Rd}$.

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

2.41 kN ≤ **150.08 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *2.41* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd}$** : *300.15* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.841*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.839*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.735*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N2, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. **$N_{c,Ed}$** : *509.42* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament.
$M_{y,Ed}^-$: *24.43* kN·m
$M_{z,Ed}^-$: *0.02* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. **Classe** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistència a compressió de la secció bruta. **$N_{pl,Rd}$** : *979.52* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament.
$M_{pl,Rd,y}$: *76.48* kN·m
$M_{pl,Rd,z}$: *16.79* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *37.40* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.
$W_{pl,y}$: *292.00* cm³
$W_{pl,z}$: *64.10* cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : *0.92*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

K_{yz} : *0.50*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

K_{zy} : *0.50*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : *0.78*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *0.99*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2\right) \cdot n_{pl} - b_{LT}\right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{yy} : *1.13*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right) \cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : *1.45*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right) \cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : *1.12*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right) \cdot n_{pl}\right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : *1.37*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

a_{LT} : *0.99*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : *0.00*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : *0.00*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ **w_y** : *1.19*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ **w_z** : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ **n_{pl}** : *0.52*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$ **0.00** ≤ **0.19**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$ **$C_{m,y}$** : *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ **$C_{m,z}$** : *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$ **$C_{m,LT}$** : *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. **$C_{m,y,0}$** : *1.00* **$C_{m,z,0}$** : *1.00*

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. **C_1** : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. **χ_y** : *0.96* **χ_z** : *0.90*

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. **χ_{LT}** : *1.00*

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. **$\bar{\lambda}_{màx}$** : *0.39*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. **$\bar{\lambda}_y$** : *0.29* **$\bar{\lambda}_z$** : *0.39*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. **$\bar{\lambda}_{LT}$** : *0.00*

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme. **$\bar{\lambda}_0$** : *0.00*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. **$W_{el,y}$** : *244.55* cm³ **$W_{el,z}$** : *33.62* cm³

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. **N_{cr}** : *6896.00* kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **I_y** : *5380.00* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme **I_t** : *32.00* cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim **V_{Ed}** és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$**.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **27.98 kN** ≤ **151.56 kN** ✓

On:

$V_{Ed,z}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **$V_{Ed,z}$** : *27.98* kN

$V_{c,Rd,z}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd,z}$** : *303.13* kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$ **η** : ***0.008*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.352 m del nus N2, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+0.9·V1.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : *0.02* kN·m

El moment torçor resistent de càlcul **T_{Rd}** ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, f_y / \gamma_{M0}$$ **T_{Rd}** : *1.94* kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. **W_T** : *12.80* cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$ **η** : ***0.092*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N2, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *27.98* kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : *0.01* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$ ve donat per:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\,V_{pl,Rd}$$

$\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$: *303.13* kN

On:

$\mathbf{V_{pl,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $\mathbf{V_{pl,Rd}}$: *303.74* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.77* MPa

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

Essent:

$\mathbf{W_T}$: Mòdul de resistència a torsió. $\mathbf{W_T}$: *12.80* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.008*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N2, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *2.41* kN

$\mathbf{T_{Ed}}$: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. $\mathbf{T_{Ed}}$: *0.01* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$ ve donat per:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\,V_{pl,Rd}$$

$\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$: *299.78* kN

On:

$\mathbf{V_{pl,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $\mathbf{V_{pl,Rd}}$: *300.15* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.47* MPa

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

Essent:

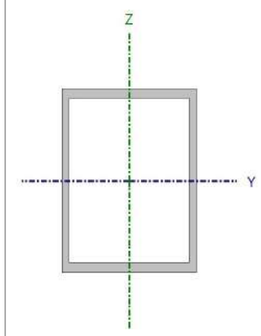
$\mathbf{W_T}$: Mòdul de resistència a torsió. $\mathbf{W_T}$: *12.80* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Barra N96/N91

Perfil: UPN 220, Doble en caixó soldat (Cordó discontinu)
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

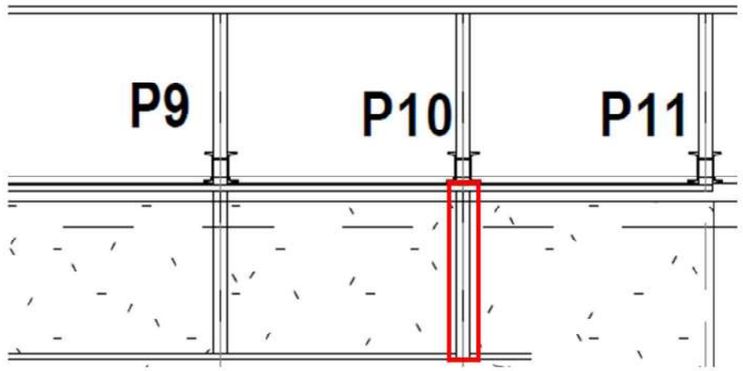


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques			
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N96	N91	2.110	74.80	5380.00	2962.60	32.00

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.110	2.110	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Nota: L'anàlisi de peces compostes es realitza mitjançant la verificació de cadascun dels perfils simples que les constitueixen. Les comprovacions d'aquests perfils es realitzen per als esforços calculats a partir dels quals actuen sobre la peça composta, segons les seves característiques mecàniques. Per a les comprovacions d'estabilitat s'utilitza la esveltesa mecànica ideal, obtinguda en funció de la esveltesa de la peça i una esveltesa complementària que té en compte la separació dels enllaços entre els perfils simples.

Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

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

21.67 ≤ 303.49 ✓

On:

$\mathbf{h_w}$: Cantell de l'ànima $\mathbf{h_w}$: *195.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Gruix de l'ànima. $\mathbf{t_w}$: *9.00* mm

$\mathbf{A_w}$: Àrea de l'ànima. $\mathbf{A_w}$: *17.55* cm²

A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. — **A_{fc}** : *10.00* cm²
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. — **k** : *0.30*
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. — **f_{yf}** : *275.00* MPa
Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.245*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.852 m del nus N96, per a la combinació d'accions 1.35·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T2+0.9·V2+0.9·VB.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — **N_{Ed}** : *240.01* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *979.52* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. — **A** : *37.40* cm²
f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.514*** ✓

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

η : ***0.568*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.173 m del nus N96, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VA+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *503.27* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *979.52* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció. — **Classe** : *1*

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : *37.40* cm²

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)
La resistència de càlcul a vinclament **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida ve donada per:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$N_{b,Rd}$: *886.08* kN

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : *37.40* cm²

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

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

χ_{FT} : *0.90*

Essent:

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

ϕ_{FT} : *0.62*

α_{FT}: Coeficient d'imperfecció. — **α_{FT}** : *0.49*
$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda.

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

$\bar{\lambda}_{FT}$: *0.39*

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. — **N_{cr}** : *6896.00* kN
La tensió crítica elàstica de vinclament σ_{cr} és el valor de la menor de les arrels de la següent equació cúbica:

$$i_0^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}\right) \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}\right) \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}\right) - \sigma_{cr}^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}\right) \cdot y_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr}\right.$$

σ_{cr} : *1843.85* MPa

On:

$\sigma_{cr,y}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y. — **$\sigma_{cr,y}$** : *3348.38* MPa
$\sigma_{cr,z}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z. — **$\sigma_{cr,z}$** : *1843.85* MPa
$\sigma_{cr,T}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta. — **$\sigma_{cr,T}$** : *∞*

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. — **I_y** : *5380.00* cm⁴

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. — **I_z** : *2962.60* cm⁴

I_t: Mòdul de torsió uniforme — I_t : 32.00 cm4

I_w: Constant de guerxesa de la secció. — I_w : 0.00 cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — E : 21000 MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. — G : 81000 MPa

λ_y: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Y, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació. — λ_y : 24.9

λ_z: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Z, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació. — λ_z : 33.5

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. — L_{kt} : 0.000 m

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. — i_0 : 10.56 cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. — i_y : 8.48 cm; i_z : 6.29 cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. — y_0 : 0.00 m; z_0 : 0.00 m

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.580** ✓

Per flexió positiva:

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : 0.00 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N91, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : 44.35 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 76.48 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : 1

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,y}$: 292.00 cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.005** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.926 m del nus N96, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : 0.09 kN·m

Per flexió negativa:

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : 0.00 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 16.79 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : 1

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,z}$: 64.10 cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.166** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N91, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : 50.52 kN

L'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$** ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 303.74 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : 20.09 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$$

Essent:

A: Àrea de la secció transversal. A : 37.40 cm²

b: Ample total de la secció. b : 80.00 mm

t_f: Espessor de l'ala. t_f : 12.50 mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : 9.00 mm

r: Radi d'acord entre ala i ànima. r : 12.50 mm

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Abonyegament per tallant de l'ànima: (Codi estructural, Article A25.5)

Encara que no s'han disposat enrigidors transversals, no és necessari comprovar la resistència a l'abonyegament de l'ànima, ja que es complix:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

21.67 < **55.46** ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima. λ_w : 21.67

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

$\lambda_{màx}$: Esveltesa màxima. $\lambda_{màx}$: 55.46

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material. η : 1.20

ε: Factor de reducció. ε : 0.92

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

Essent:

f_{ref}: Límit elàstic de referència. f_{ref} : 235.00 MPa

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.020** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.926 m del nus N96, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 5.92 kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 300.15 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : 19.85 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. A : 37.40 cm²

d: Alçada de l'ànima. d : 195.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : 9.00 mm

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim V_{Ed} no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $V_{c,Rd}$.

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

3.27 kN ≤ **151.87 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 3.27 kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $V_{c,Rd}$: 303.74 kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim V_{Ed} no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $V_{c,Rd}$.

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

0.44 kN ≤ **150.08 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 1.35·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VB.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *0.44* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd}$** : *300.15* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.835*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.823*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.635*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N91, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

On:

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. **$N_{c,Ed}$** : *343.73* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament.
$M_{y,Ed}$: *36.76* kN·m
$M_{z,Ed}$: *0.05* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. **Classe** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistència a compressió de la secció bruta. **$N_{pl,Rd}$** : *979.52* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament.
$M_{pl,Rd,y}$: *76.48* kN·m
$M_{pl,Rd,z}$: *16.79* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *37.40* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.
$W_{pl,y}$: *292.00* cm³
$W_{pl,z}$: *64.10* cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : *0.94*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

K_{yz} : *0.54*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

K_{zy} : *0.51*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : *0.84*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *1.00*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{yy} : *1.09*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : *1.30*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : *1.08*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : *1.25*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

a_{LT} : *0.99*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : *0.00*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : *0.00*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$

w_y : 1.19

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$

w_z : 1.50

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

n_{pl} : 0.35

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$

0.00 ≤ **0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$

$C_{m,y}$: 1.00

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$

$C_{m,z}$: 1.00

$$C_{m,LT} = 1.00$$

$C_{m,LT}$: 1.00

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. — $C_{m,y,0}$: 1.00; $C_{m,z,0}$: 1.00

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. — C_1 : 1.00

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — χ_y : 0.96; χ_z : 0.90

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. — χ_{LT} : 1.00

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. — $\bar{\lambda}_{màx}$: 0.39

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. — $\bar{\lambda}_y$: 0.29; $\bar{\lambda}_z$: 0.39

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. — $\bar{\lambda}_{LT}$: 0.00

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme. — $\bar{\lambda}_0$: 0.00

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — $W_{el,y}$: 244.55 cm³; $W_{el,z}$: 33.62 cm³

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. — N_{cr} : 6921.79 kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. — I_y : 5380.00 cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme — I_t : 32.00 cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim V_{Ed} és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

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

3.27 kN ≤ **151.87 kN** ✓

On:

$V_{Ed,z}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — $V_{Ed,z}$: 3.27 kN

$V_{c,Rd,z}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. — $V_{c,Rd,z}$: 303.74 kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$

η : **0.003** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.926 m del nus N96, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·VD.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. — T_{Ed} : 0.01 kN·m

El moment torçor resistent de càlcul T_{Rd} ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, f_y / \gamma_{M0}$$

T_{Rd} : 1.94 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. — W_T : 12.80 cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.166** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N91, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : 50.52 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. — T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 303.57 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: *303.74* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.21* MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : *12.80* cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.020*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en un punt situat a una distància de 1.926 m del nus N96, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *5.92* kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : *0.01* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\, V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *299.83* kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: *300.15* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.41* MPa

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

Essent:

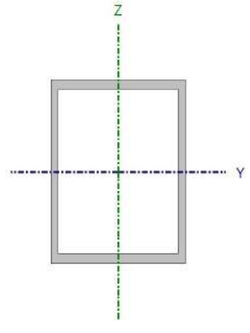
W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : *12.80* cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Barra N51/N38

Perfil: UPN 220, Doble en caixó soldat (Cordó discontinu)
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))



Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques			
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N51	N38	2.250	74.80	5380.00	2962.60	32.00

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.250	2.250	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític

Nota: L'anàlisi de peces compostes es realitza mitjançant la verificació de cadascun dels perfils simples que les constitueixen. Les comprovacions d'aquests perfils es realitzen per als esforços calculats a partir dels quals actuen sobre la peça composta, segons les seves característiques mecàniques. Per a les comprovacions d'estabilitat s'utilitza la esveltesa mecànica ideal, obtinguda en funció de la esveltesa de la peça i una esveltesa complementària que té en compte la separació dels enllaços entre els perfils simples.

Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

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

21.67 ≤ 303.49 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima h_w : *195.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : *9.00* mm

A_w: Àrea de l'ànima. A_w : *17.55* cm²

A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. A_{fc} : *10.00* cm²

k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. k : *0.30*

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. E : *210000* MPa

f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. f_{yf} : *275.00* MPa

Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.374** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N38, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T2+0.9·V1+0.9·VA.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — **N_{Ed}** : 366.75 kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: 979.52 kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. — **A** : 37.40 cm²

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : 1.05

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.673** ✓

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

η : **0.755** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N38, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VB+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : 658.74 kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: 979.52 kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció. — **Classe** : 1

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : 37.40 cm²

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : 1.05

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)

La resistència de càlcul a vinclament **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida ve donada per:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$N_{b,Rd}$: 872.81 kN

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : 37.40 cm²

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : 275.00 MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M1}** : 1.05

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

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

χ_{FT} : 0.89

Essent:

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

ϕ_{FT} : 0.64

α_{FT}: Coeficient d'imperfecció. — **α_{FT}** : 0.49

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda.

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

$\bar{\lambda}_{FT}$: 0.41

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. — **N_{cr}** : 6064.53 kN

La tensió crítica elàstica de vinclament σ_{cr} és el valor de la menor de les arrels de la següent equació cúbica:

$$i_0^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}\right) \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}\right) \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}\right) - \sigma_{cr}^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}\right) \cdot y_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr}\right.$$

σ_{cr} : 1621.53 MPa

On:

$\sigma_{cr,y}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y. — **$\sigma_{cr,y}$** : 2944.66 MPa

$\sigma_{cr,z}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z. — **$\sigma_{cr,z}$** : 1621.53 MPa

$\sigma_{cr,T}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta. — **$\sigma_{cr,T}$** : ∞

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. — **I_y** : 5380.00 cm4

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. — **I_z** : 2962.60 cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme — **I_t** : 32.00 cm4

I_w: Constant de guerxesa de la secció. — **I_w** : 0.00 cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : 210000 MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. — **G** : 81000 MPa

λ_y: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Y, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació. — **λ_y** : 26.5

λ_z: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Z, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació. — **λ_z** : 35.8

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. — **L_{kt}** : 0.000 m

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. — **i_0** : 10.56 cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z.

i_y : 8.48 cm

i_z : 6.29 cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.

y_0 : 0.00 m

z_0 : 0.00 m

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.167** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N38, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V3+1.5·VB.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^+ : 9.05 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N38, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^- : 12.81 kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 76.48 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : 1

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. $W_{pl,y}$: 292.00 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.124** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N51, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+1.5·T2+0.9·V4+0.9·VA.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^+ : 0.69 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N51, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^- : 2.09 kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 16.79 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : 1

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. $W_{pl,z}$: 64.10 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.045** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.903 m del nus N51, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 13.80 kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 303.74 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : 20.09 cm²

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$$

Essent:

A: Àrea de la secció transversal. **A** : 37.40 cm²

b: Ample total de la secció. **b** : 80.00 mm

t_f: Espessor de l'ala. t_f : 12.50 mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : 9.00 mm

r: Radi d'acord entre ala i ànima. **r** : *12.50* mm

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Abonyegament per tallant de l'ànima: (Codi estructural, Article A25.5)

Encara que no s'han disposat enrigidors transversals, no és necessari comprovar la resistència a l'abonyegament de l'ànima, ja que es complix:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

21.67 < **55.46** ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima. λ_w : *21.67*

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

$\lambda_{màx}$: Esveltesa màxima. $\lambda_{màx}$: *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material. η : *1.20*

ε: Factor de reducció. ε : *0.92*

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

Essent:

f_{ref}: Límit elàstic de referència. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.112*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N51, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *33.71* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *300.15* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : *19.85* cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *37.40* cm²

d: Alçada de l'ànima. **d** : *195.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : *9.00* mm

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim V_{Ed} no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $V_{c,Rd}$.

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

5.58 kN ≤ **151.87 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T1+1.5·V4+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *5.58* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $V_{c,Rd}$: *303.74* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim V_{Ed} no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $V_{c,Rd}$.

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

33.71 kN ≤ **150.08 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *33.71* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $V_{c,Rd}$: *300.15* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.797*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.805*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.828*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N38, per a la combinació d'accions
0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VB.

On:

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *658.70* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament. — **$M_{y,Ed}^+$** : *6.09* kN·m; **$M_{z,Ed}^-$** : *0.76* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. — **Classe** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistència a compressió de la secció bruta. — **$N_{pl,Rd}$** : *979.52* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. — **$M_{pl,Rd,y}$** : *76.48* kN·m; **$M_{pl,Rd,z}$** : *16.79* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. — **A** : *37.40* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — **$W_{pl,y}$** : *292.00* cm³; **$W_{pl,z}$** : *64.10* cm³

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : *0.91*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

K_{yz} : *0.48*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

K_{zy} : *0.50*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : *0.76*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *0.99*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2\right) \cdot n_{pl} - b_{LT}\right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{yy} : *1.16*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right) \cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : *1.57*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right) \cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : *1.13*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right) \cdot n_{pl}\right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : *1.46*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

a_{LT} : *0.99*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : *0.00*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : *0.00*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$

w_y : *1.19*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$

w_z : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

n_{pl} : *0.67*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$

0.00 ≤ **0.19**

$C_{m,y} = C_{m,y,0}$ — $C_{m,y}$: 1.00

$C_{m,z} = C_{m,z,0}$ — $C_{m,z}$: 1.00

$C_{m,LT} = 1.00$ — $C_{m,LT}$: 1.00

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. — $C_{m,y,0}$: 1.00; $C_{m,z,0}$: 1.00

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. — C_1 : 1.00

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — χ_y : 0.95; χ_z : 0.89

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. — χ_{LT} : 1.00

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. — $\bar{\lambda}_{màx}$: 0.41

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. — $\bar{\lambda}_y$: 0.31; $\bar{\lambda}_z$: 0.41

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. — $\bar{\lambda}_{LT}$: 0.00

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme. — $\bar{\lambda}_0$: 0.00

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — $W_{el,y}$: 244.55 cm³; $W_{el,z}$: 33.62 cm³

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. — N_{cr} : 6064.53 kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. — I_y : 5380.00 cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme — I_t : 32.00 cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim V_{Ed} és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

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

33.71 kN ≤ 149.73 kN ✓

On:

$V_{Ed,y}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — $V_{Ed,y}$: 33.71 kN

$V_{c,Rd,y}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. — $V_{c,Rd,y}$: 299.46 kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$

η : **0.007** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·V2+0.9·VB.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. — T_{Ed} : 0.01 kN·m

El moment torçor resistent de càlcul T_{Rd} ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, f_y / \gamma_{M0}$$

T_{Rd} : 1.94 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. — W_T : 12.80 cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.045** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en un punt situat a una distància de 1.903 m del nus N51, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : 13.80 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. — T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 303.49 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. — $V_{pl,Rd}$: 303.74 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. — $\tau_{t,Ed}$: 0.32 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. — W_T : 12.80 cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.113*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N51, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *33.71* kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : *0.01* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït **$V_{pl,T,Rd}$** ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\, V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *299.46* kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. **$V_{pl,Rd}$** : *300.15* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. **$\tau_{t,Ed}$** : *0.87* MPa

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

Essent:

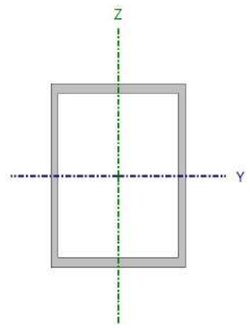
W_T: Mòdul de resistència a torsió. **W_T** : *12.80* cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Barra N53/N11

Perfil: UPN 220, Doble en caixó soldat (Cordó discontinu)
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

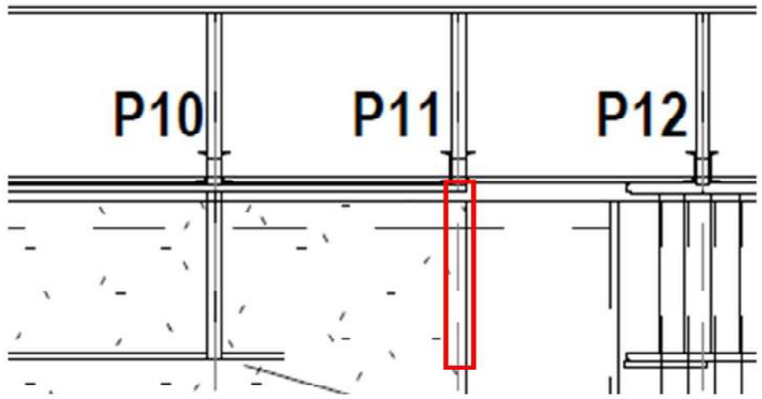


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques			
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N53	N11	2.110	74.80	5380.00	2962.60	32.00

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	2.110	2.110	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Nota: L'anàlisi de peces compostes es realitza mitjançant la verificació de cadascun dels perfils simples que les constitueixen. Les comprovacions d'aquests perfils es realitzen per als esforços calculats a partir dels quals actuen sobre la peça composta, segons les seves característiques mecàniques. Per a les comprovacions d'estabilitat s'utilitza la esveltesa mecànica ideal, obtinguda en funció de la esveltesa de la peça i una esveltesa complementària que té en compte la separació dels enllaços entre els perfils simples.

Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

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

21.67 ≤ 303.49 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima **h_w** : *195.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. **t_w** : *9.00* mm

A_w: Àrea de l'ànima. — **A_w** : *17.55* cm²

A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. — **A_{fc}** : *10.00* cm²

k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. — **k** : *0.30*

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa

f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. — **f_{yf}** : *275.00* MPa

Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.220*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.114 m del nus N53, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q6+1.5·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — **N_{Ed}** : *215.66* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *979.52* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. — **A** : *37.40* cm²

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.458*** ✓

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

η : ***0.507*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.785 m del nus N53, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VA.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *448.92* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *979.52* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció. — **Classe** : *1*

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : *37.40* cm²

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)

La resistència de càlcul a vinclament **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida ve donada per:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$N_{b,Rd}$: *886.08* kN

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : *37.40* cm²

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

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

χ_{FT} : *0.90*

Essent:

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

ϕ_{FT} : *0.62*

α_{FT}: Coeficient d'imperfecció. — **α_{FT}** : *0.49*

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda.

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

$\bar{\lambda}_{FT}$: *0.39*

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. — **N_{cr}** : *6896.00* kN

La tensió crítica elàstica de vinclament σ_{cr} és el valor de la menor de les arrels de la següent equació cúbica:

$$i_0^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}\right) \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}\right) \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}\right) - \sigma_{cr}^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}\right) \cdot y_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr}\right.$$

σ_{cr} : *1843.85* MPa

On:

$\sigma_{cr,y}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y. — **$\sigma_{cr,y}$** : *3348.38* MPa

$\sigma_{cr,z}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z. — **$\sigma_{cr,z}$** : *1843.85* MPa

$\sigma_{cr,T}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta. — **$\sigma_{cr,T}$** : ∞

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. — **I_y** : *5380.00* cm⁴

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. — I_z : 2962.60 cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme — I_t : 32.00 cm4

I_w: Constant de guerxesa de la secció. — I_w : 0.00 cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — E : 210000 MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. — G : 81000 MPa

λ_y: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Y, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació. — λ_y : 24.9

λ_z: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Z, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació. — λ_z : 33.5

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. — L_{kt} : 0.000 m

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. — i_0 : 10.56 cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z.
i_y : 8.48 cm
i_z : 6.29 cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.
y_0 : 0.00 m
z_0 : 0.00 m

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.585** ✓

Per flexió positiva:

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : 0.00 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N11, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : 44.74 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 76.48 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — Classe : 1

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,y}$: 292.00 cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.025** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N11, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VA.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : 0.43 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N11, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : 0.23 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 16.79 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — Classe : 1

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,z}$: 64.10 cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.159** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N11, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : 48.24 kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $\mathbf{V_{c,Rd}}$ ve donat per:

$$\mathbf{V_{c,Rd}} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *303.74* kN

On:

$\mathbf{A_v}$: Àrea transversal a tallant. — $\mathbf{A_v}$: *20.09* cm²

$$\mathbf{A_v} = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$$

Essent:

- $\mathbf{A}$: Àrea de la secció transversal. — $\mathbf{A}$: *37.40* cm²
- $\mathbf{b}$: Ample total de la secció. — $\mathbf{b}$: *80.00* mm
- $\mathbf{t_f}$: Espessor de l'ala. — $\mathbf{t_f}$: *12.50* mm
- $\mathbf{t_w}$: Gruix de l'ànima. — $\mathbf{t_w}$: *9.00* mm
- $\mathbf{r}$: Radi d'acord entre ala i ànima. — $\mathbf{r}$: *12.50* mm

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. — $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Abonyegament per tallant de l'ànima: (Codi estructural, Article A25.5)

Encara que no s'han disposat enrigidors transversals, no és necessari comprovar la resistència a l'abonyegament de l'ànima, ja que es complix:

$$\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{t_w}} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

21.67 < **55.46** ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima. — λ_w : *21.67*

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

$\lambda_{màx}$: Esveltesa màxima. — $\lambda_{màx}$: *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material. — η : *1.20*

ε: Factor de reducció. — ε : *0.92*

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

Essent:

- $\mathbf{f_{ref}}$: Límit elàstic de referència. — $\mathbf{f_{ref}}$: *235.00* MPa
- $\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. — $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.054*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.920 m del nus N53, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VA.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — $\mathbf{V_{Ed}}$: *16.35* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $\mathbf{V_{c,Rd}}$ ve donat per:

$$\mathbf{V_{c,Rd}} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *300.15* kN

On:

$\mathbf{A_v}$: Àrea transversal a tallant. — $\mathbf{A_v}$: *19.85* cm²

$$\mathbf{A_v} = A - d \cdot t_w$$

Essent:

- $\mathbf{A}$: Àrea de la secció bruta. — $\mathbf{A}$: *37.40* cm²
- $\mathbf{d}$: Alçada de l'ànima. — $\mathbf{d}$: *195.00* mm
- $\mathbf{t_w}$: Gruix de l'ànima. — $\mathbf{t_w}$: *9.00* mm

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. — $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

2.76 kN ≤ **151.87 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — $\mathbf{V_{Ed}}$: *2.76* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. — $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *303.74* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

14.53 kN ≤ **150.08 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VA.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *14.53* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd}$** : *300.15* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.825*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.804*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.614*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N11, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

On:

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. **$N_{c,Ed}$** : *303.44* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament. **$M_{y,Ed}$** : *37.56* kN·m **$M_{z,Ed}$** : *0.40* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. **Classe** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistència a compressió de la secció bruta. **$N_{pl,Rd}$** : *979.52* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. **$M_{pl,Rd,y}$** : *76.48* kN·m **$M_{pl,Rd,z}$** : *16.79* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *37.40* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. **$W_{pl,y}$** : *292.00* cm³ **$W_{pl,z}$** : *64.10* cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : *0.95*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

K_{yz} : *0.55*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

K_{zy} : *0.51*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : *0.85*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *1.00*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2\right) \cdot n_{pl} - b_{LT}\right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{yy} : *1.08*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right) \cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : *1.27*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right) \cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : *1.07*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right) \cdot n_{pl}\right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : *1.22*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

a_{LT} : *0.99*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : *0.00*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : *0.00*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : *0.00*

$$\mathbf{w_y} = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ **w_y** : *1.19*

$$\mathbf{w_z} = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ **w_z** : *1.50*

$$\mathbf{n_{pl}} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ **n_{pl}** : *0.31*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$ **0.00** ≤ **0.20**

$$\mathbf{C_{m,y}} = C_{m,y,0}$$ **$C_{m,y}$** : *1.00*

$$\mathbf{C_{m,z}} = C_{m,z,0}$$ **$C_{m,z}$** : *1.00*

$$\mathbf{C_{m,LT}} = 1.00$$ **$C_{m,LT}$** : *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. **$C_{m,y,0}$** : *1.00* **$C_{m,z,0}$** : *1.00*

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. **C_1** : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. **χ_y** : *0.96* **χ_z** : *0.90*

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. **χ_{LT}** : *1.00*

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. **$\bar{\lambda}_{màx}$** : *0.39*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. **$\bar{\lambda}_y$** : *0.29* **$\bar{\lambda}_z$** : *0.39*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. **$\bar{\lambda}_{LT}$** : *0.00*

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme. **$\bar{\lambda}_0$** : *0.00*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. **$W_{el,y}$** : *244.55* cm³ **$W_{el,z}$** : *33.62* cm³

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. **N_{cr}** : *6896.00* kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **I_y** : *5380.00* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme **I_t** : *32.00* cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim **V_{Ed}** és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$**.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VA.

$$\mathbf{V_{Ed,y}} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$ **14.53 kN** ≤ **150.05 kN** ✓

On:

$V_{Ed,y}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **$V_{Ed,y}$** : *14.53* kN

$V_{c,Rd,y}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd,y}$** : *300.10* kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$ **η** : ***0.018*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.729 m del nus N53, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : *0.03* kN·m

El moment torçor resistent de càlcul **T_{Rd}** ve donat per:

$$\mathbf{T_{Rd}} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, {f_y}/{\gamma_{M0}}$$ **T_{Rd}** : *1.94* kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. **W_T** : *12.80* cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$ **η** : ***0.159*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N11, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *48.24* kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : *0.00* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït **$V_{pl,T,Rd}$** ve donat per:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *303.73* kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: *303.74* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.01* MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : *12.80* cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.055*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en un punt situat a una distància de 1.920 m del nus N53, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VA.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *16.35* kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : *0.01* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\, V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *299.72* kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: *300.15* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.55* MPa

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

Essent:

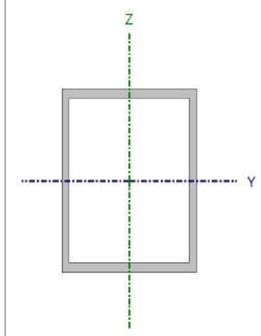
W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : *12.80* cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Barra N48/N49

Perfil: UPN 220, Doble en caixó soldat (Cordó discontinu)
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

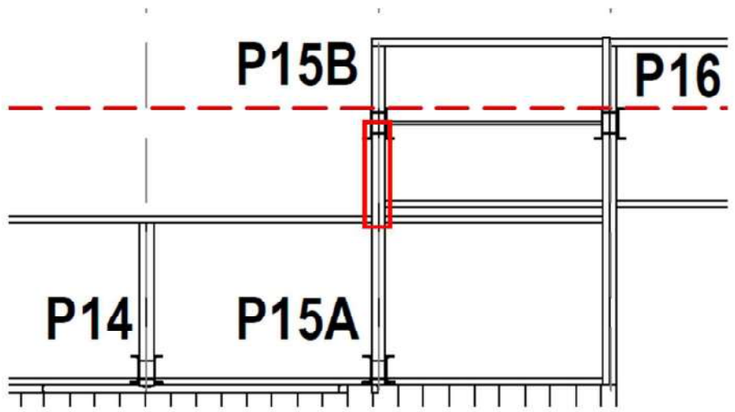


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques			
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N48	N49	1.140	74.80	5380.00	2962.60	32.00

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	1.140	1.140	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Nota: L'anàlisi de peces compostes es realitza mitjançant la verificació de cadascun dels perfils simples que les constitueixen. Les comprovacions d'aquests perfils es realitzen per als esforços calculats a partir dels quals actuen sobre la peça composta, segons les seves característiques mecàniques. Per a les comprovacions d'estabilitat s'utilitza la esveltesa mecànica ideal, obtinguda en funció de la esveltesa de la peça i una esveltesa complementària que té en compte la separació dels enllaços entre els perfils simples.

Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

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

21.67 ≤ 303.49 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima h_w : *195.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : *9.00* mm

A_w: Àrea de l'ànima. **A_w** : *17.55* cm²
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. **A_{fc}** : *10.00* cm²
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. **k** : *0.30*
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. **E** : *210000* MPa
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. **f_{yf}** : *275.00* MPa
Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.355*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N48, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T2+0.9·V3+0.9·VB.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. **N_{Ed}** : *347.88* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *979.52* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. **A** : *37.40* cm²
f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.694*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N48, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. **$N_{c,Ed}$** : *679.54* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *979.52* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència **Classe** : *1*

plàstica dels elements plans comprimits d'una secció.
A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : *37.40* cm²
f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)
Si l'esveltesa $\bar{\lambda} \leq 0.2$ o la relació **$N_{c,Ed}$ / N_{cr}** ≤ 0.04 es pot ignorar l'efecte del vinclament, i comprovar únicament la resistència de la secció transversal.

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda. $\bar{\lambda}$: *0.21*

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

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: Relació d'axials. **$N_{c,Ed}/N_{cr}$** : *0.029*

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : *37.40* cm²
f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa
N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. **N_{cr}** : *23623.96* kN
La tensió crítica elàstica de vinclament σ_{cr} és el valor de la menor de les arrels de la següent equació cúbica:

$$i_0^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot y_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot z_0^2 = 0$$

σ_{cr} : *6316.57* MPa

On:

$\sigma_{cr,y}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y. **$\sigma_{cr,y}$** : *11470.70* MPa
$\sigma_{cr,z}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z. **$\sigma_{cr,z}$** : *6316.57* MPa
$\sigma_{cr,T}$: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta. **$\sigma_{cr,T}$** : *∞*
I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **I_y** : *5380.00* cm4
I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. **I_z** : *2962.60* cm4
I_t: Mòdul de torsió uniforme **I_t** : *32.00* cm4
I_w: Constant de guerxesa de la secció. **I_w** : *0.00* cm6
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. **E** : *210000* MPa
G: Mòdul d'elasticitat transversal. **G** : *81000* MPa
λ_y: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Y, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació. **λ_y** : *13.4*
λ_z: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Z, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació. **λ_z** : *18.1*
L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. **L_{kt}** : *0.000* m
i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. **i_0** : *10.56* cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. **i_y** : *8.48* cm; **i_z** : *6.29* cm
y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. **y_0** : *0.00* mm; **z_0** : *0.00* mm

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.343*** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N49, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V3+1.5·VB.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^+** : *11.52* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N49, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^-** : *26.20* kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *76.48* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : *1*

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. **$W_{pl,y}$** : *292.00* cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.053*** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N48, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^+** : *0.89* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N48, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+0.9·T2+1.5·V3+1.5·VB.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^-** : *0.50* kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *16.79* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : *1*

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. **$W_{pl,z}$** : *64.10* cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.118*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.863 m del nus N48, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *35.74* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$** ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *303.74* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. **A_v** : *20.09* cm²

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$$

Essent:

A: Àrea de la secció transversal. **A** : *37.40* cm²

b: Ample total de la secció. **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. **t_f** : *12.50* mm

t_w: Gruix de l'ànima. **t_w** : *9.00* mm

r: Radi d'acord entre ala i ànima. **r** : *12.50* mm

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Abonyegament per tallant de l'ànima: (Codi estructural, Article A25.5)

Encara que no s'han disposat enrigidors transversals, no és necessari comprovar la resistència a l'abonyegament de l'ànima, ja que es complix:

$$\frac{d}{t_w} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

21.67 < **55.46** ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima. **λ_w** : *21.67*

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

$\lambda_{màx}$: Esveltesa màxima. $\lambda_{màx}$: *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material. η : *1.20*

ε: Factor de reducció. ε : *0.92*

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

Essent:

f_{ref}: Límit elàstic de referència. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.085*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N48, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *25.46* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *300.15* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : *19.85* cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. A : *37.40* cm²

d: Alçada de l'ànima. d : *195.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : *9.00* mm

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim V_{Ed} no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $V_{c,Rd}$.

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

21.50 kN ≤ 151.87 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *21.50* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $V_{c,Rd}$: *303.74* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim V_{Ed} no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $V_{c,Rd}$.

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

25.46 kN ≤ 150.08 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *25.46* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $V_{c,Rd}$: *300.15* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.822*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.782*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.668*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N49, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *525.78* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament. — **$M_{y,Ed}$** : *21.64* kN·m; **$M_{z,Ed}$** : *0.04* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. — **Classe** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistència a compressió de la secció bruta. — **$N_{pl,Rd}$** : *979.52* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. — **$M_{pl,Rd,y}$** : *76.48* kN·m; **$M_{pl,Rd,z}$** : *16.79* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. — **A** : *37.40* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — **$W_{pl,y}$** : *292.00* cm³; **$W_{pl,z}$** : *64.10* cm³

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$ — **K_{yy}** : *0.86*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$ — **K_{yz}** : *0.45*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$ — **K_{zy}** : *0.46*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$ — **K_{zz}** : *0.70*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$ — **μ_y** : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$ — **μ_z** : *1.00*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ — **C_{yy}** : *1.17*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ — **C_{yz}** : *1.52*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ — **C_{zy}** : *1.18*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ — **C_{zz}** : *1.46*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ — **a_{LT}** : *0.99*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ — **b_{LT}** : *0.00*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ — **c_{LT}** : *0.00*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ — **d_{LT}** : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ — **e_{LT}** : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ — **w_y** : *1.19*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ — **w_z** : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ — **n_{pl}** : *0.54*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$ — **0.00** ≤ **0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$ — **$C_{m,y}$** : *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ — **$C_{m,z}$** : *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$ — **$C_{m,LT}$** : *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. — **$C_{m,y,0}$** : *1.00*; **$C_{m,z,0}$** : *1.00*

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. — **C_1** : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — **χ_y** : *1.00*; **χ_z** : *1.00*

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. — **χ_{LT}** : *1.00*

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. — **$\bar{\lambda}_{màx}$** : *0.21*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. — **$\bar{\lambda}_y$** : *0.15*

	$\bar{\lambda}_z$:	0.21
$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.	$\bar{\lambda}_{LT}$:	0.00
$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme.	$\bar{\lambda}_0$:	0.00
$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.	$W_{el,y}$:	244.55 cm³
	$W_{el,z}$:	33.62 cm³
N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.	N_{cr} :	23623.96 kN
I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.	I_y :	5380.00 cm4
I_t: Mòdul de torsió uniforme	I_t :	32.00 cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim V_{Ed} és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

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

25.46 kN ≤ 149.55 kN ✓

On:

$V_{Ed,y}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant.	$V_{Ed,y}$:	25.46 kN
$V_{c,Rd,y}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant.	$V_{c,Rd,y}$:	299.11 kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$

η : **0.010** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
0.8·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·V1+0.9·VA.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. — T_{Ed} : 0.02 kN·m

El moment torçor resistent de càlcul T_{Rd} ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, f_y / \gamma_{M0}$$

T_{Rd} : 1.94 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.	W_T :	12.80 cm³
f_y: Límit elàstic.	f_y :	275.00 MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.	γ_{M0} :	1.05

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.118** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en un punt situat a una distància de 0.863 m del nus N48, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : 35.74 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. — T_{Ed} : 0.02 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 302.53 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.	$V_{pl,Rd}$:	303.74 kN
$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió.	$\tau_{t,Ed}$:	1.51 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.	W_T :	12.80 cm³
f_y: Límit elàstic.	f_y :	275.00 MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.	γ_{M0} :	1.05

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.085** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N48, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : 25.46 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. — T_{Ed} : 0.02 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 299.11 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. — $V_{pl,Rd}$: 300.15 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. — $\tau_{t,Ed}$: 1.32 MPa

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

Essent:

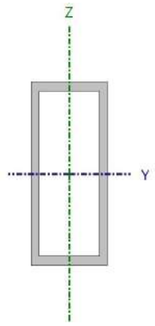
W_T: Mòdul de resistència a torsió. — W_T : 12.80 cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Barra N87/N400

Perfil: 200x83-9-11
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

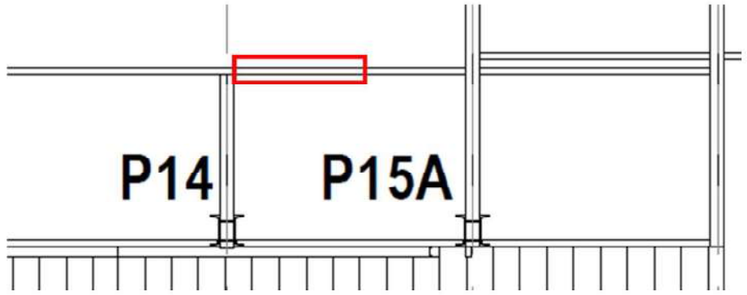


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques			
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N87	N400	1.378	50.30	2478.47	545.62	1422.76

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	1.375	1.375	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

$$\frac{h_w}{t_w} \le k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

19.78 ≤ 429.16 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima — h_w : 178.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : 9.00 mm

A_w: Àrea de l'ànima. — A_w : 32.04 cm²

A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. — A_{fc} : 9.13 cm²

k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. — k : 0.30

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — E : 210000 MPa

f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. — f_{yf} : 275.00 MPa

Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.325*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N400, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T2+0.9·V3+0.9·VB.

$\mathbf{N_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. $\mathbf{N_{Ed}}$: *427.67* kN

La resistència de càlcul a tracció $\mathbf{N_{t,Rd}}$ ve donada per:

$$\mathbf{N_{t,Rd}} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$\mathbf{N_{t,Rd}}$: *1317.38* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. **A** : *50.30* cm²

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.658*** ✓

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

η : ***0.771*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.936 m del nus N87, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

$\mathbf{N_{c,Ed}}$: Valor de càlcul de la força de compressió. $\mathbf{N_{c,Ed}}$: *867.00* kN

La resistència de càlcul a compressió $\mathbf{N_{c,Rd}}$ ve donat per:

$$\mathbf{N_{c,Rd}} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$\mathbf{N_{c,Rd}}$: *1317.38* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció. **Classe** : *1*

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : *50.30* cm²

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)

La resistència de càlcul a vinclament $\mathbf{N_{b,Rd}}$ en una barra comprimida ve donada per:

$$\mathbf{N_{b,Rd}} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$\mathbf{N_{b,Rd}}$: *1124.53* kN

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : *50.30* cm²

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M1} : *1.05*

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

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

χ_y : *0.99*

χ_z : *0.85*

Essent:

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

ϕ_y : *0.53*

ϕ_z : *0.68*

α: Coeficient d'imperfecció.

α_y : *0.49*

α_z : *0.49*

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda.

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

$\bar{\lambda}_y$: *0.23*

$\bar{\lambda}_z$: *0.48*

$\mathbf{N_{cr}}$: Axial crític de vinclament elàstic. $\mathbf{N_{cr}}$: *5981.39* kN

L'axial crític de vinclament elàstic $\mathbf{N_{cr}}$ és el menor dels valors obtinguts en a), b) i c)

a) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Y. $\mathbf{N_{cr,y}}$: *27170.45* kN

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

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z. $\mathbf{N_{cr,z}}$: *5981.39* kN

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

c) Axial crític elàstic de vinclament per torsió. $\mathbf{N_{cr,T}}$: ∞

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

On:

$\mathbf{I_y}$: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. $\mathbf{I_y}$: *2478.47* cm4

$\mathbf{I_z}$: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. $\mathbf{I_z}$: *545.62* cm4

$\mathbf{I_t}$: Mòdul de torsió uniforme $\mathbf{I_t}$: *1422.76* cm4

I_w: Constant de guerxesa de la secció. **I_w** : 0.00 cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. **E** : 210000 MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. **G** : 81000 MPa

L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y. **L_{ky}** : 1.375 m

L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z. **L_{kz}** : 1.375 m

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. **L_{kt}** : 0.000 m

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. **i_0** : 7.75 cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. **i_y** : 7.02 cm; **i_z** : 3.29 cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. **y_0** : 0.00 mm; **z_0** : 0.00 mm

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.091** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N87, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V3+1.5·VB.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^+** : 3.00 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N87, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^-** : 7.52 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 82.54 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : 1

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. **$W_{pl,y}$** : 315.14 cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : 1.05

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.103** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N87, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V3.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^+** : 4.23 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N87, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^-** : 2.10 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 40.97 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : 1

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. **$W_{pl,z}$** : 156.44 cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : 1.05

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.033** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.247 m del nus N87, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : 15.88 kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $\mathbf{V_{c,Rd}}$ ve donat per:

$$\mathbf{V_{c,Rd}} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *484.48* kN

On:

$\mathbf{A_v}$: Àrea transversal a tallant. $\mathbf{A_v}$: *32.04* cm²

$$\mathbf{A_v} = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Essent:

$\mathbf{d}$: Alçada de l'ànima. $\mathbf{d}$: *178.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Gruix de l'ànima. $\mathbf{t_w}$: *9.00* mm

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Abonyegament per tallant de l'ànima: (Codi estructural, Article A25.5)

Encara que no s'han disposat enrigidors transversals, no és necessari comprovar la resistència a l'abonyegament de l'ànima, ja que es complix:

$$\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{t_w}} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$ **19.78** < **55.46** ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima. λ_w : *19.78*

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

$\lambda_{màx}$: Esveltesa màxima. $\lambda_{màx}$: *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material. η : *1.20*

ε: Factor de reducció. ε : *0.92*

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

Essent:

$\mathbf{f_{ref}}$: Límit elàstic de referència. $\mathbf{f_{ref}}$: *235.00* MPa

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$ η : ***0.078*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N87, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VA.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *21.64* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $\mathbf{V_{c,Rd}}$ ve donat per:

$$\mathbf{V_{c,Rd}} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$ $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *276.11* kN

On:

$\mathbf{A_v}$: Àrea transversal a tallant. $\mathbf{A_v}$: *18.26* cm²

$$\mathbf{A_v} = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Essent:

$\mathbf{A}$: Àrea de la secció bruta. $\mathbf{A}$: *50.30* cm²

$\mathbf{d}$: Alçada de l'ànima. $\mathbf{d}$: *178.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Gruix de l'ànima. $\mathbf{t_w}$: *9.00* mm

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Abonyegament per tallant de l'ànima: (Codi estructural, Article A25.5)

Encara que no s'han disposat enrigidors transversals, no és necessari comprovar la resistència a l'abonyegament de l'ànima, ja que es complix:

$$\frac{\mathbf{b}}{\mathbf{t_f}} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$ **7.55** < **55.46** ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima. λ_w : *7.55*

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

$\lambda_{màx}$: Esveltesa màxima. $\lambda_{màx}$: *55.46*

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material. η : *1.20*

ε: Factor de reducció. ε : *0.92*

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

Essent:

$\mathbf{f_{ref}}$: Límit elàstic de referència. $\mathbf{f_{ref}}$: *235.00* MPa

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

$$V_{Ed} \le \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **14.81 kN ≤ 242.24 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *14.81* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd}$** : *484.48* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim **V_{Ed}** no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant **$V_{c,Rd}$**.

$$V_{Ed} \le \frac{V_{c,Rd}}{2}$$ **21.64 kN ≤ 138.06 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VA.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *21.64* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd}$** : *276.11* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}}\right]^{\alpha} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}}\right]^{\beta} \le 1$$ **η : *0.019*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$ **η : *0.714*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$ **η : *0.821*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N87, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. **$N_{c,Ed}$** : *764.67* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament.
$M_{y,Ed}^{-}$: *5.98* kN·m
$M_{z,Ed}^{+}$: *4.13* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. **Classe** : *1*

$M_{N,Rd,y}$, $M_{N,Rd,z}$: Moments resistents plàstics reduïts a causa de l'esforç axial, segons els eixos Y i Z, respectivament.
$M_{N,Rd,y}$: *46.17* kN·m
$M_{N,Rd,z}$: *20.04* kN·m

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_w) \le M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1-n)/(1-0.5 \cdot a_f) \le M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1-1.13 \cdot n^2} \le 6$$
α : *2.681*
β : *2.681*

Essent:

$$n = N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}$$ **n** : *0.580*

$N_{pl,Rd}$: Resistència a compressió de la secció bruta. **$N_{pl,Rd}$** : *1317.38* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament.
$M_{pl,Rd,y}$: *82.54* kN·m
$M_{pl,Rd,z}$: *40.97* kN·m

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f)/A \le 0.5$$ **a_w** : *0.50*

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w)/A \le 0.5$$ **a_f** : *0.28*

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *50.30* cm²
b: Ample total de la secció. **b** : *8.30* cm
h: Cantell de la secció. **h** : *200.00* mm
t_f: Espessor de l'ala. **t_f** : *11.00* mm
t_w: Gruix de l'ànima. **t_w** : *9.00* mm

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *50.30* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.
$W_{pl,y}$: *315.14* cm³
$W_{pl,z}$: *156.44* cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$ **K_{yy}** : *0.88*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$ **K_{yz}** : *0.62*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$ **K_{zy}** : *0.54*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : 1.01

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$ μ_y : 1.00

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$ μ_z : 0.98

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2\right) \cdot n_{pl} - b_{LT}\right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ C_{yy} : 1.17

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right) \cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ C_{yz} : 1.07

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right) \cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ C_{zy} : 1.16

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right) \cdot n_{pl}\right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ C_{zz} : 1.11

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ a_{LT} : 0.43

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ b_{LT} : 0.00

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ c_{LT} : 0.00

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ d_{LT} : 0.00

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ e_{LT} : 0.00

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ w_y : 1.27

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ w_z : 1.19

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ n_{pl} : 0.58

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$$ **0.00** ≤ **0.19**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$ $C_{m,y}$: 1.00

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ $C_{m,z}$: 1.00

$$C_{m,LT} = 1.00$$ $C_{m,LT}$: 1.00

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent.
$C_{m,y,0}$: 1.00
$C_{m,z,0}$: 1.00

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.
C_1 : 1.00

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.
χ_y : 0.99
χ_z : 0.85

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional.
χ_{LT} : 1.00

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$.
$\bar{\lambda}_{màx}$: 0.48

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.
$\bar{\lambda}_y$: 0.23
$\bar{\lambda}_z$: 0.48

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.
$\bar{\lambda}_{LT}$: 0.00

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme.
$\bar{\lambda}_0$: 0.00

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.
$W_{el,y}$: 247.85 cm³
$W_{el,z}$: 131.47 cm³

$N_{cr,y}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y.
$N_{cr,y}$: 27170.45 kN

$N_{cr,z}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z.
$N_{cr,z}$: 5981.39 kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.
I_y : 2478.47 cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme
I_t : 1422.76 cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim V_{Ed} és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$ **21.54 kN** ≤ **132.28 kN** ✓

On:

$V_{Ed,y}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $V_{Ed,y}$: 21.54 kN

$V_{c,Rd,y}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $V_{c,Rd,y}$: 264.57 kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$

η : **0.052** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : *1.96* kN·m

El moment torçor resistent de càlcul T_{Rd} ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, f_y / \gamma_{M0}$$

T_{Rd} : *38.07* kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : *251.75* cm³
f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.035** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en un punt situat a una distància de 0.247 m del nus N87, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *15.88* kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : *1.96* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = [1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}] V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *459.47* kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: *484.48* kN
$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *7.80* MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : *251.75* cm³
f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.081** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N87, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *21.54* kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : *1.59* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = [1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}] V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *266.67* kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: *276.11* kN
$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *5.17* MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : *307.69* cm³
f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

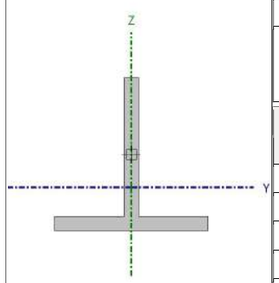
1. RESULTATS

1.1. Barres – Muntants

1.1.1. Comprovacions E.L.U. (Complet)

Nota: Es mostra el llistat complet de comprovacions realitzades per les 10 barres amb major coeficient d'aprofitament.

Perfil: T80.80.8
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

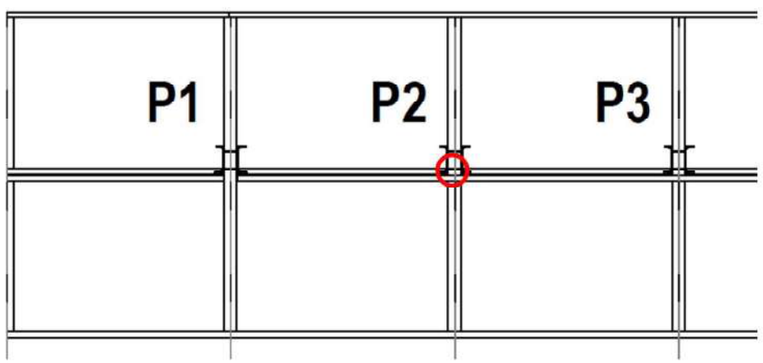


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques					
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N74	N199	1.350	12.16	73.73	34.44	2.59	0.00	-17.05

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme
(3) Coordenades del centre de gravetat

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	0.00	0.00	0.00
L_K	1.350	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

$$\frac{h_w}{t_w} \le k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

9.00 ≤ 217.33 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima — **h_w** : *72.00* mm
t_w: Gruix de l'ànima. — **t_w** : *8.00* mm
A_w: Àrea de l'ànima. — **A_w** : *5.76* cm²
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. — **A_{fc}** : *6.40* cm²
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. — **k** : *0.30*
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. — **f_{yf}** : *275.00* MPa

Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.001*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N199, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V3+0.9·VA.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — **N_{Ed}** : *0.27* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *318.48* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. — **A** : *12.16* cm²
f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.002*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N74, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *0.65* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$ **$N_{c,Rd}$** : *318.48* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció. **Classe** : *2*

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : *12.16* cm²

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)

Si l'esveltesa $\bar{\lambda} \leq 0.2$ o la relació **$N_{c,Ed}$ / N_{cr}** ≤ 0.04 es pot ignorar l'efecte del vinclament, i comprovar únicament la resistència de la secció transversal.

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda. $\bar{\lambda}$: *0.92*

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

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: Relació d'axials. **$N_{c,Ed}/N_{cr}$** : *0.002*

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : *12.16* cm²

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. **N_{cr}** : *391.67* kN

L'axial crític de vinclament elàstic **N_{cr}** és el menor dels valors obtinguts en a) i b)

a) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Y. **$N_{cr,y}$** : ∞

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

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexotorsió. **$N_{cr,FT}$** : *391.67* kN

$$N_{cr,FT} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot \left[\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right) - \sqrt{\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right)^2 - 4 \cdot \beta \cdot N_{cr,z} \cdot N_{cr,T}} \right]$$

On:

$N_{cr,z}$: Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z. **$N_{cr,z}$** : *391.67* kN

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

$N_{cr,T}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per torsió. **$N_{cr,T}$** : ∞

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

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **I_y** : *73.73* cm4

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. **I_z** : *34.44* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme **I_t** : *2.59* cm4

I_w: Constant de guerxesa de la secció. **I_w** : *8.06* cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. **E** : *210000* MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y. **L_{ky}** : *0.000* m

L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z. **L_{kz}** : *1.350* m

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. **L_{kt}** : *0.000* m

β: Constant adimensional obtinguda mitjançant la següent expressió: **β** : *0.71*

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0^2 + z_0^2}{i_0^2} \right)$$

On:

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. **i_0** : *3.53* cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. **i_y** : *2.46* cm **i_z** : *1.68* cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. **y_0** : *0.00* mm **z_0** : *-18.95* mm

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$ **η** : ***0.947*** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N74, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VB.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^+** : *5.32* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N74, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^-** : *5.77* kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$ **$M_{c,Rd}$** : *6.10* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : *1*

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. **$W_{pl,y}$** : *23.28* cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.075*** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N74, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T2+0.9·V4+0.9·VC.

M_{Ed}^{+}: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^{+} : *0.21* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N74, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD.

M_{Ed}^{-}: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^{-} : *0.27* kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *3.65* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : *1*

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,z}$: *13.95* cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.056*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N74, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : *5.19* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. — A_v : *6.08* cm²

$$A_v = A - b \cdot t_f + (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. — A : *12.16* cm²

b: Ample total de la secció. — b : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. — t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.004*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : *0.36* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. — A_v : *6.08* cm²

$$A_v = b \cdot t_f - (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

b: Ample total de la secció. — b : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. — t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

5.19 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *5.19* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *91.94* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

0.36 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.36* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *91.94* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.987*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.970*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.609*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N74, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$\mathbf{N_{c,Ed}}$: Valor de càlcul de la força de compressió. $\mathbf{N_{c,Ed}}$: *0.58* kN

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{M_{y,Ed}^-}$: *5.76* kN·m; $\mathbf{M_{z,Ed}^+}$: *0.15* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. **Classe** : *1*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistència a compressió de la secció bruta. $\mathbf{N_{pl,Rd}}$: *318.48* kN

$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$, $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: *6.10* kN·m; $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: *3.65* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *12.16* cm²

$\mathbf{W_{pl,y}}$, $\mathbf{W_{pl,z}}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *23.28* cm³; $\mathbf{W_{pl,z}}$: *13.95* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M1} : *1.05*

$\mathbf{K_{yy}}$, $\mathbf{K_{yz}}$, $\mathbf{K_{zy}}$, $\mathbf{K_{zz}}$: Coeficients d'interacció.

$$\mathbf{k_{yy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$\mathbf{K_{yy}}$: *1.00*

$$\mathbf{k_{yz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

$\mathbf{K_{yz}}$: *0.60*

$$\mathbf{k_{zy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$\mathbf{K_{zy}}$: *0.60*

$$\mathbf{k_{zz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

$\mathbf{K_{zz}}$: *1.00*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *1.00*

$$\mathbf{C_{yy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$\mathbf{C_{yy}}$: *1.00*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : *1.00*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : *1.00*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : *1.00*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

a_{LT} : *0.96*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : *0.00*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : *0.00*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$

w_y : *1.50*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$

w_z : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

n_{pl} : *0.00*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$

0.00 ≤ **0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$

$C_{m,y}$: *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$

$C_{m,z}$: *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$

$C_{m,LT}$: *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent.

$C_{m,y,0}$: *1.00*
$C_{m,z,0}$: *1.00*

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

C_1 : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

χ_y : *1.00*
χ_z : *1.00*

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional.

χ_{LT} : *1.00*

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$.

$\bar{\lambda}_{màx}$: *0.92*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

$\bar{\lambda}_y$: *0.00*
$\bar{\lambda}_z$: *0.92*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.00*

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme.

$\bar{\lambda}_0$: *0.00*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

$W_{el,y}$: *12.92* cm³
$W_{el,z}$: *8.61* cm³

$N_{cr,y}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y.

$N_{cr,y}$: ∞

$N_{cr,z}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z.

$N_{cr,z}$: *391.67* kN

$N_{cr,FT}$: Esforç axial crític elàstic per a vinclament per flexió i torsió.

$N_{cr,FT}$: *391.67* kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.

I_y : *73.73* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_t : *2.59* cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim V_{Ed} és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

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

5.19 kN ≤ **45.92 kN** ✓

On:

$V_{Ed,z}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

$V_{Ed,z}$: *5.19* kN

$V_{c,Rd,z}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant.

$V_{c,Rd,z}$: *91.83* kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$

η : ***0.004*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals.

T_{Ed} : *0.00* kN·m

El moment torçor resistent de càlcul T_{Rd} ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, f_y / \gamma_{M0}$$ T_{Rd} : 0.49 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$ η : **0.056** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N74, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 5.19 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$ $V_{pl,T,Rd}$: 91.83 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 91.94 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 0.43 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$ η : **0.004** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 0.35 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$ $V_{pl,T,Rd}$: 91.83 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 91.94 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 0.43 MPa

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

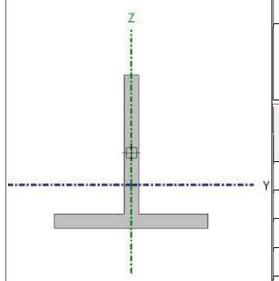
Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Perfil: T80.80.8
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

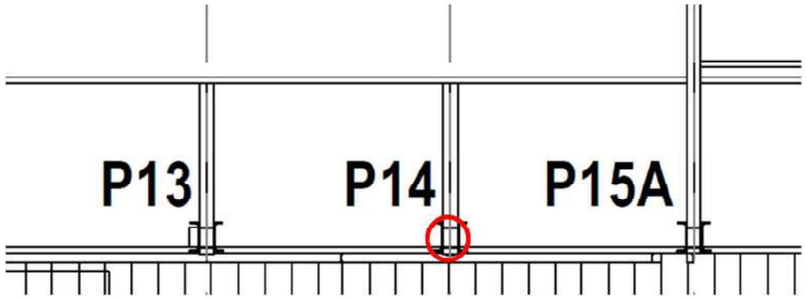


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques					
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N80	N193	1.350	12.16	73.73	34.44	2.59	0.00	-17.05

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme
(3) Coordenades del centre de gravetat

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	0.00	0.00	0.00
L_K	1.350	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

$$\frac{h_w}{t_w} \le k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

9.00 ≤ 217.33 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima — h_w : *72.00* mm
t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm
A_w: Àrea de l'ànima. — A_w : *5.76* cm²
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. — A_{fc} : *6.40* cm²
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. — **k** : *0.30*
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. — f_{yf} : *275.00* MPa
Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.001*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N193, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q3+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VD.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — **N_{Ed}** : *0.25* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *318.48* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. — **A** : *12.16* cm²
f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.002*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N80, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V4+0.9·VB.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *0.68* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *318.48* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció. — **Classe** : *2*
A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : *12.16* cm²
f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)
Si l'esveltesa $\bar{\lambda} \leq 0.2$ o la relació $N_{c,Ed} / N_{cr} \leq 0.04$ es pot ignorar l'efecte del vinclament, i comprovar únicament la resistència de la secció transversal.

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda. $\bar{\lambda}$: 0.92

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

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: Relació d'axials. $N_{c,Ed}/N_{cr}$: 0.002

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : 12.16 cm²
f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa
N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. N_{cr} : 391.67 kN

L'axial crític de vinclament elàstic N_{cr} és el menor dels valors obtinguts en a) i b)

a) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Y. $N_{cr,y}$: ∞

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

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexotorsió. $N_{cr,FT}$: 391.67 kN

$$N_{cr,FT} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot \left[\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right) - \sqrt{\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right)^2 - 4 \cdot \beta \cdot N_{cr,z} \cdot N_{cr,T}} \right]$$

On:

$N_{cr,z}$: Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z. $N_{cr,z}$: 391.67 kN

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

$N_{cr,T}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per torsió. $N_{cr,T}$: ∞

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

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. I_y : 73.73 cm4
I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. I_z : 34.44 cm4
I_t: Mòdul de torsió uniforme I_t : 2.59 cm4
I_w: Constant de guerxesa de la secció. I_w : 8.06 cm6
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. **E** : 210000 MPa
G: Mòdul d'elasticitat transversal. **G** : 81000 MPa
L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y. L_{ky} : 0.000 m
L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z. L_{kz} : 1.350 m
L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. L_{kt} : 0.000 m
β: Constant adimensional obtinguda mitjançant la següent expressió: β : 0.71

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0^2 + z_0^2}{i_0^2} \right)$$

On:

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. i_0 : 3.53 cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. i_y : 2.46 cm; i_z : 1.68 cm
y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. y_0 : 0.00 mm; z_0 : -18.95 mm

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)
S'ha de satisfer:

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

η : **0.928** ✓

Per flexió positiva:
L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N80, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VB.
M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^+ : 5.30 kN·m
Per flexió negativa:
L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N80, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V2+0.9·VA+0.75·N1.
M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^- : 5.66 kN·m
El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 6.10 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : 1
$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. $W_{pl,y}$: 23.28 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)
No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)
S'ha de satisfer:

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

η : **0.085** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N80, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VC.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^+ : 0.31 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N80, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T2+0.9·V2+0.9·VD.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^- : 0.24 kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 3.65 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : 1

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. $W_{pl,z}$: 13.95 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.056** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N80, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V2+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 5.11 kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 91.94 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : 6.08 cm²

$$A_v = A - b \cdot t_f + (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. **A** : 12.16 cm²

b: Ample total de la secció. **b** : 80.00 mm

t_f: Espessor de l'ala. t_f : 8.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : 8.00 mm

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.005** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VC.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 0.42 kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: 91.94 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : 6.08 cm²

$$A_v = b \cdot t_f - (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

b: Ample total de la secció. **b** : 80.00 mm

t_f: Espessor de l'ala. t_f : 8.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : 8.00 mm

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim V_{Ed} no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $V_{c,Rd}$.

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

5.11 kN ≤ **45.97 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V2+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — **V_{Ed}** : *5.11* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. — **$V_{c,Rd}$** : *91.94* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim **V_{Ed}** no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant **$V_{c,Rd}$**.

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

0.42 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VC.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — **V_{Ed}** : *0.42* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. — **$V_{c,Rd}$** : *91.94* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \le 1$$

η : ***0.980*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$

η : ***0.958*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \le 1$$

η : ***0.611*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N80, per a la combinació d'accions
1.35·PP+0.8·CM1+1.5·Q3+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V4+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *0.63* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els

eixos Y i Z, respectivament. — **$M_{z,Ed}^{+}$** : *0.20* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. — **Classe** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistència a compressió de la secció bruta. — **$N_{pl,Rd}$** : *318.48* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. — **$M_{pl,Rd,y}$** : *6.10* kN·m; **$M_{pl,Rd,z}$** : *3.65* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. — **A** : *12.16* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — **$W_{pl,y}$** : *23.28* cm³; **$W_{pl,z}$** : *13.95* cm³

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : *1.00*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

K_{yz} : *0.60*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

K_{zy} : *0.60*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : *1.00*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *1.00*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \ge \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{yy} : *1.00*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : *1.00*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \ge 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : *1.00*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1)\cdot\left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right)\cdot n_{pl}\right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ **C_{zz} :** *1.00*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ **a_{LT} :** *0.96*

$$b_{LT} = 0.5\cdot a_{LT}\cdot\bar{\lambda}_0^2\cdot\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}\cdot\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ **b_{LT} :** *0.00*

$$c_{LT} = 10\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0^2}{5+\bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **c_{LT} :** *0.00*

$$d_{LT} = 2\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0}{0.1+\bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}\cdot\frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z}\cdot M_{pl,Rd,z}}$$ **d_{LT} :** *0.00*

$$e_{LT} = 1.7\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0}{0.1+\bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **e_{LT} :** *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ **w_y :** *1.50*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ **w_z :** *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ **n_{pl} :** *0.00*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2\cdot\sqrt{C_1}\cdot\sqrt[4]{\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)\cdot\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$ **0.00 ≤ 0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$ **$C_{m,y}$:** *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ **$C_{m,z}$:** *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$ **$C_{m,LT}$:** *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. — **$C_{m,y,0}$:** *1.00* **$C_{m,z,0}$:** *1.00*

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. — **C_1 :** *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — **χ_y :** *1.00* **χ_z :** *1.00*

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. — **χ_{LT} :** *1.00*

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. — **$\bar{\lambda}_{màx}$:** *0.92*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esveltesses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. — **$\bar{\lambda}_y$:** *0.00* **$\bar{\lambda}_z$:** *0.92*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. — **$\bar{\lambda}_{LT}$:** *0.00*

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme. — **$\bar{\lambda}_0$:** *0.00*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — **$W_{el,y}$:** *12.92* cm³ **$W_{el,z}$:** *8.61* cm³

$N_{cr,y}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y. — **$N_{cr,y}$:** ∞

$N_{cr,z}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z. — **$N_{cr,z}$:** *391.67* kN

$N_{cr,FT}$: Esforç axial crític elàstic per a vinclament per flexió i torsió. — **$N_{cr,FT}$:** *391.67* kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. — **I_y :** *73.73* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme — **I_t :** *2.59* cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim **V_{Ed}** és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$**.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V2+1.5·VA+0.75·N1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **5.11 kN ≤ 45.92 kN** ✓

On:

$V_{Ed,z}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — **$V_{Ed,z}$:** *5.11* kN

$V_{c,Rd,z}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. — **$V_{c,Rd,z}$:** *91.84* kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$ **η :** ***0.004*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. — **T_{Ed} :** *0.00* kN·m

El moment torçor resistent de càlcul **T_{Rd}** ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}}W_T\,{}^{f_y}\!/_{\gamma_{M0}}$$ **T_{Rd} :** *0.49* kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. — **W_T :** *3.24* cm³

f_y: Límit elàstic. — **f_y :** *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0} :** *1.05*

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.056*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N80, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V2+1.5·VA+0.75·N1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *5.11* kN

$\mathbf{T_{Ed}}$: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. $\mathbf{T_{Ed}}$: *0.00* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$ ve donat per:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\,V_{pl,Rd}$$

$\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$: *91.84* kN

On:

$\mathbf{V_{pl,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $\mathbf{V_{pl,Rd}}$: *91.94* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.39* MPa

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

Essent:

$\mathbf{W_T}$: Mòdul de resistència a torsió. $\mathbf{W_T}$: *3.24* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.004*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VC.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.40* kN

$\mathbf{T_{Ed}}$: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. $\mathbf{T_{Ed}}$: *0.00* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$ ve donat per:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\,V_{pl,Rd}$$

$\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$: *91.84* kN

On:

$\mathbf{V_{pl,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $\mathbf{V_{pl,Rd}}$: *91.94* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.39* MPa

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

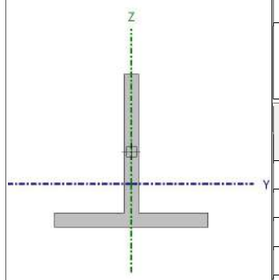
Essent:

$\mathbf{W_T}$: Mòdul de resistència a torsió. $\mathbf{W_T}$: *3.24* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Perfil: T80.80.8
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

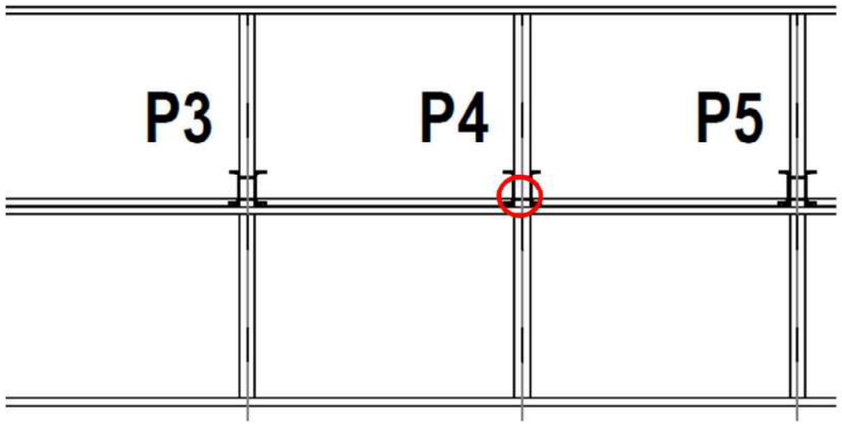


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques					
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N75	N198	1.350	12.16	73.73	34.44	2.59	0.00	-17.05

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme
(3) Coordenades del centre de gravetat

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	0.00	0.00	0.00
L_K	1.350	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

$$\frac{h_w}{t_w} \le k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

9.00 ≤ 217.33 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima — h_w : *72.00* mm
t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm
A_w: Àrea de l'ànima. — A_w : *5.76* cm²
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. — A_{fc} : *6.40* cm²
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. — **k** : *0.30*

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. — **f_{yf}** : *275.00* MPa
Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.001*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N198, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VA.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — **N_{Ed}** : *0.22* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *318.48* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. — **A** : *12.16* cm²
f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.002*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N75, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *0.73* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *318.48* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de — **Classe** : *2*

desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció.

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : *12.16* cm²

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)

Si l'esveltesa $\bar{\lambda} \leq 0.2$ o la relació $N_{c,Ed} / N_{cr} \leq 0.04$ es pot ignorar l'efecte del vinclament, i comprovar únicament la resistència de la secció transversal.

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda. — $\bar{\lambda}$: *0.92*

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

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: Relació d'axials. — $N_{c,Ed}/N_{cr}$: *0.002*

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : *12.16* cm²

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. — N_{cr} : *391.67* kN

L'axial crític de vinclament elàstic N_{cr} és el menor dels valors obtinguts en a) i b)

a) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Y. — $N_{cr,y}$: ∞

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

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexotorsió. — $N_{cr,FT}$: *391.67* kN

$$N_{cr,FT} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot \left[\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right) - \sqrt{\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right)^2 - 4 \cdot \beta \cdot N_{cr,z} \cdot N_{cr,T}} \right]$$

On:

$N_{cr,z}$: Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z. — $N_{cr,z}$: *391.67* kN

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

$N_{cr,T}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per torsió. — $N_{cr,T}$: ∞

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

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. — I_y : *73.73* cm4

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. — I_z : *34.44* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme — I_t : *2.59* cm4

I_w: Constant de guerxesa de la secció. — I_w : *8.06* cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. — **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y. — L_{ky} : *0.000* m

L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z. — L_{kz} : *1.350* m

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. — L_{kt} : *0.000* m

β: Constant adimensional obtinguda mitjançant la següent expressió: — β : *0.71*

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0^2 + z_0^2}{i_0^2} \right)$$

On:

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. — i_0 : *3.53* cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. — i_y : *2.46* cm; i_z : *1.68* cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. — y_0 : *0.00* mm; z_0 : *-18.95* mm

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.946*** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N75, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VB.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : *5.30* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N75, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : *5.77* kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *6.10* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : *1*

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,y}$: *23.28* cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.053*** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N75, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T2+0.9·V1+0.9·VC.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : *0.16* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N75, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VD.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : *0.19* kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *3.65* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : *1*

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,z}$: *13.95* cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.056*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N75, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : *5.18* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. — A_v : *6.08* cm²

$$A_v = A - b \cdot t_f + (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. — **A** : *12.16* cm²

b: Ample total de la secció. — **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. — t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.003*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VD.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : *0.26* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. — A_v : *6.08* cm²

$$A_v = b \cdot t_f - (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

b: Ample total de la secció. — **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. — t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

5.18 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *5.18* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *91.94* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

0.26 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VD.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.26* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *91.94* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.977*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.964*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.599*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N75, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$\mathbf{N_{c,Ed}}$: Valor de càlcul de la força de compressió. $\mathbf{N_{c,Ed}}$: *0.65* kN

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{M_{y,Ed}^-}$: *5.75* kN·m; $\mathbf{M_{z,Ed}^+}$: *0.11* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. **Classe** : *1*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistència a compressió de la secció bruta. $\mathbf{N_{pl,Rd}}$: *318.48* kN

$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$, $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: *6.10* kN·m; $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: *3.65* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *12.16* cm²

$\mathbf{W_{pl,y}}$, $\mathbf{W_{pl,z}}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *23.28* cm³; $\mathbf{W_{pl,z}}$: *13.95* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M1} : *1.05*

$\mathbf{K_{yy}}$, $\mathbf{K_{yz}}$, $\mathbf{K_{zy}}$, $\mathbf{K_{zz}}$: Coeficients d'interacció.

$$\mathbf{k_{yy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$\mathbf{K_{yy}}$: *1.00*

$$\mathbf{k_{yz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

$\mathbf{K_{yz}}$: *0.60*

$$\mathbf{k_{zy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$\mathbf{K_{zy}}$: *0.60*

$$\mathbf{k_{zz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

$\mathbf{K_{zz}}$: *1.00*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *1.00*

$$\mathbf{C_{yy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$\mathbf{C_{yy}}$: *1.00*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1)\cdot\left[\left(2 - 14\cdot\frac{C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right)\cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \geq 0.6\cdot\sqrt{\frac{w_z}{w_y}}\cdot\frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ **C_{yz}** : *1.00*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1)\cdot\left[\left(2 - 14\cdot\frac{C_{my}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right)\cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \geq 0.6\cdot\sqrt{\frac{w_y}{w_z}}\cdot\frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ **C_{zy}** : *1.00*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1)\cdot\left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right)\cdot n_{pl}\right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ **C_{zz}** : *1.00*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ **a_{LT}** : *0.96*

$$b_{LT} = 0.5\cdot a_{LT}\cdot\bar{\lambda}_0^2\cdot\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}\cdot\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ **b_{LT}** : *0.00*

$$c_{LT} = 10\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **c_{LT}** : *0.00*

$$d_{LT} = 2\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}\cdot\frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z}\cdot M_{pl,Rd,z}}$$ **d_{LT}** : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **e_{LT}** : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ **w_y** : *1.50*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ **w_z** : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ **n_{pl}** : *0.00*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2\cdot\sqrt{C_1}\cdot\sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)\cdot\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$ **0.00 ≤ 0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$ **$C_{m,y}$** : *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ **$C_{m,z}$** : *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$ **$C_{m,LT}$** : *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. **$C_{m,y,0}$** : *1.00* **$C_{m,z,0}$** : *1.00*

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. **C_1** : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, **χ_y** : *1.00*

respectivament. **χ_z** : *1.00*

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. **χ_{LT}** : *1.00*

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. **$\bar{\lambda}_{màx}$** : *0.92*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. **$\bar{\lambda}_y$** : *0.00* **$\bar{\lambda}_z$** : *0.92*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. **$\bar{\lambda}_{LT}$** : *0.00*

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme. **$\bar{\lambda}_0$** : *0.00*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. **$W_{el,y}$** : *12.92* cm³ **$W_{el,z}$** : *8.61* cm³

$N_{cr,y}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y. **$N_{cr,y}$** : ∞

$N_{cr,z}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z. **$N_{cr,z}$** : *391.67* kN

$N_{cr,FT}$: Esforç axial crític elàstic per a vinclament per flexió i torsió. **$N_{cr,FT}$** : *391.67* kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **I_y** : *73.73* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme **I_t** : *2.59* cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim **V_{Ed}** és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$**.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **5.18 kN ≤ 45.92 kN** ✓

On:

$V_{Ed,z}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **$V_{Ed,z}$** : *5.18* kN

$V_{c,Rd,z}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd,z}$** : *91.84* kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$ **η** : ***0.004*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : *0.00* kN·m

El moment torçor resistent de càlcul **T_{Rd}** ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}}W_T\,f_y/\gamma_{M0}$$

T_{Rd} : 0.49 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.056** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N75, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 5.18 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 91.84 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 91.94 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 0.38 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.003** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VD.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 0.25 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 91.84 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 91.94 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 0.38 MPa

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

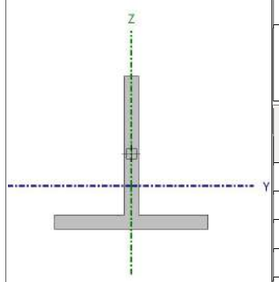
Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Perfil: T80.80.8
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

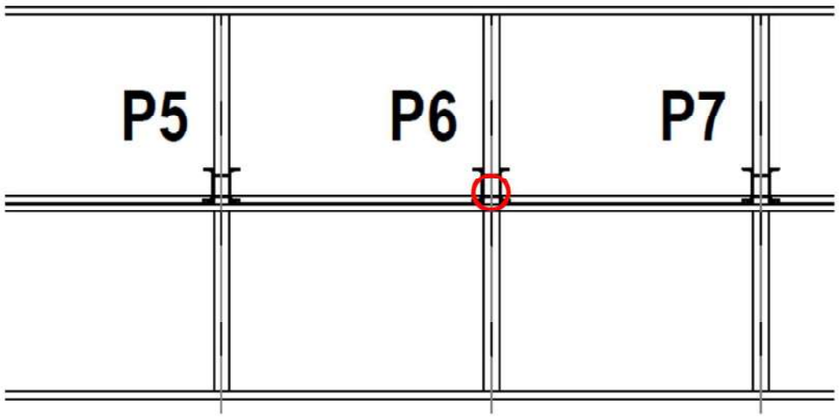


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques					
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N76	N197	1.350	12.16	73.73	34.44	2.59	0.00	-17.05

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme
(3) Coordenades del centre de gravetat

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	0.00	0.00	0.00
L_K	1.350	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

$$\frac{h_w}{t_w} \le k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

9.00 ≤ 217.33 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima — h_w : *72.00* mm
t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm
A_w: Àrea de l'ànima. — A_w : *5.76* cm²
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. — A_{fc} : *6.40* cm²
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. — **k** : *0.30*

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. — **f_{yf}** : *275.00* MPa
Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.001*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N197, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VA.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — **N_{Ed}** : *0.22* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *318.48* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. — **A** : *12.16* cm²
f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.002*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N76, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *0.73* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *318.48* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de — **Classe** : *2*

desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció.

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : *12.16* cm²

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)

Si l'esveltesa $\bar{\lambda} \leq 0.2$ o la relació $N_{c,Ed} / N_{cr} \leq 0.04$ es pot ignorar l'efecte del vinclament, i comprovar únicament la resistència de la secció transversal.

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda. — $\bar{\lambda}$: *0.92*

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

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: Relació d'axials. — $N_{c,Ed}/N_{cr}$: *0.002*

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : *12.16* cm²

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. — N_{cr} : *391.67* kN

L'axial crític de vinclament elàstic N_{cr} és el menor dels valors obtinguts en a) i b)

a) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Y. — $N_{cr,y}$: ∞

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

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexotorsió. — $N_{cr,FT}$: *391.67* kN

$$N_{cr,FT} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot \left[\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right) - \sqrt{\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right)^2 - 4 \cdot \beta \cdot N_{cr,z} \cdot N_{cr,T}} \right]$$

On:

$N_{cr,z}$: Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z. — $N_{cr,z}$: *391.67* kN

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

$N_{cr,T}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per torsió. — $N_{cr,T}$: ∞

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

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. — I_y : *73.73* cm4

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. — I_z : *34.44* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme — I_t : *2.59* cm4

I_w: Constant de guerxesa de la secció. — I_w : *8.06* cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. — **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y. — L_{ky} : *0.000* m

L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z. — L_{kz} : *1.350* m

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. — L_{kt} : *0.000* m

β: Constant adimensional obtinguda mitjançant la següent expressió: — β : *0.71*

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0^2 + z_0^2}{i_0^2} \right)$$

On:

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. — i_0 : *3.53* cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. — i_y : *2.46* cm; i_z : *1.68* cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. — y_0 : *0.00* mm; z_0 : *-18.95* mm

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.946*** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N76, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VB.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : *5.30* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N76, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : *5.77* kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *6.10* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : *1*

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,y}$: *23.28* cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.035*** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N76, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VC.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^+ : *0.13* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N76, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VD.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^- : *0.11* kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *3.65* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : *1*

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. $W_{pl,z}$: *13.95* cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.056*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N76, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *5.18* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : *6.08* cm²

$$A_v = A - b \cdot t_f + (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *12.16* cm²

b: Ample total de la secció. **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.002*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.900 m del nus N76, per a la combinació d'accions PP+CM1+0.6·Q2+0.6·Q4-SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *0.17* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : *6.08* cm²

$$A_v = b \cdot t_f - (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

b: Ample total de la secció. **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

5.18 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *5.18* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *91.94* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

0.17 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VC.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.17* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *91.94* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.967*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.958*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.589*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N76, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$\mathbf{N_{c,Ed}}$: Valor de càlcul de la força de compressió. $\mathbf{N_{c,Ed}}$: *0.65* kN

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{M_{y,Ed}^-}$: *5.75* kN·m; $\mathbf{M_{z,Ed}^+}$: *0.08* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. **Classe** : *1*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistència a compressió de la secció bruta. $\mathbf{N_{pl,Rd}}$: *318.48* kN

$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$, $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: *6.10* kN·m; $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: *3.65* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *12.16* cm²

$\mathbf{W_{pl,y}}$, $\mathbf{W_{pl,z}}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *23.28* cm³; $\mathbf{W_{pl,z}}$: *13.95* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M1} : *1.05*

$\mathbf{K_{yy}}$, $\mathbf{K_{yz}}$, $\mathbf{K_{zy}}$, $\mathbf{K_{zz}}$: Coeficients d'interacció.

$$\mathbf{k_{yy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$\mathbf{K_{yy}}$: *1.00*

$$\mathbf{k_{yz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

$\mathbf{K_{yz}}$: *0.60*

$$\mathbf{k_{zy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$\mathbf{K_{zy}}$: *0.60*

$$\mathbf{k_{zz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

$\mathbf{K_{zz}}$: *1.00*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *1.00*

$$\mathbf{C_{yy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$\mathbf{C_{yy}}$: *1.00*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ **C_{yz}** : *1.00*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ **C_{zy}** : *1.00*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ **C_{zz}** : *1.00*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ **a_{LT}** : *0.96*

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ **b_{LT}** : *0.00*

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **c_{LT}** : *0.00*

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ **d_{LT}** : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **e_{LT}** : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ **w_y** : *1.50*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ **w_z** : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ **n_{pl}** : *0.00*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$ **0.00 ≤ 0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$ **$C_{m,y}$** : *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ **$C_{m,z}$** : *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$ **$C_{m,LT}$** : *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. **$C_{m,y,0}$** : *1.00* **$C_{m,z,0}$** : *1.00*

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. **C_1** : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, **χ_y** : *1.00*

respectivament. **χ_z** : *1.00*

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. **χ_{LT}** : *1.00*

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. **$\bar{\lambda}_{màx}$** : *0.92*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. **$\bar{\lambda}_y$** : *0.00* **$\bar{\lambda}_z$** : *0.92*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. **$\bar{\lambda}_{LT}$** : *0.00*

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme. **$\bar{\lambda}_0$** : *0.00*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. **$W_{el,y}$** : *12.92* cm³ **$W_{el,z}$** : *8.61* cm³

$N_{cr,y}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y. **$N_{cr,y}$** : ∞

$N_{cr,z}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z. **$N_{cr,z}$** : *391.67* kN

$N_{cr,FT}$: Esforç axial crític elàstic per a vinclament per flexió i torsió. **$N_{cr,FT}$** : *391.67* kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **I_y** : *73.73* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme **I_t** : *2.59* cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim **V_{Ed}** és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$**.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **5.18 kN ≤ 45.92 kN** ✓

On:

$V_{Ed,z}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **$V_{Ed,z}$** : *5.18* kN

$V_{c,Rd,z}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd,z}$** : *91.84* kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$ **η** : ***0.004*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : *0.00* kN·m

El moment torçor resistent de càlcul **T_{Rd}** ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, f_y / \gamma_{M0}$$

T_{Rd} : 0.49 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.056** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N76, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 5.18 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\, V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 91.84 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 91.94 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 0.39 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.002** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en un punt situat a una distància de 0.900 m del nus N76, per a la combinació d'accions
PP+CM1+0.6·Q2+0.6·Q4-SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 0.17 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\, V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 91.91 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 91.94 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 0.13 MPa

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

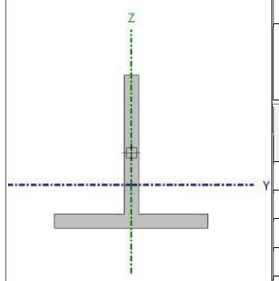
Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Perfil: T80.80.8
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

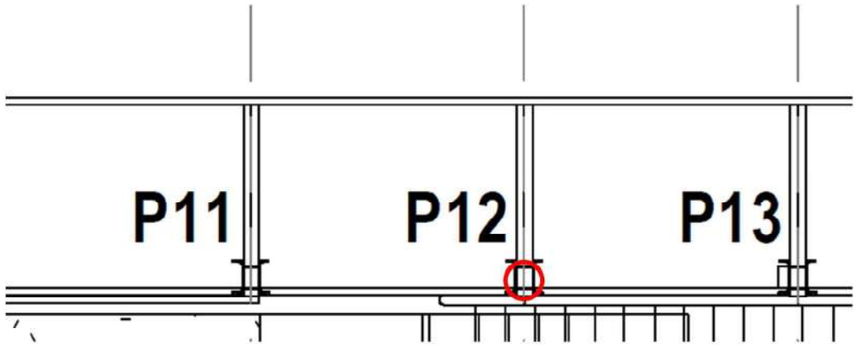


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques					
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N79	N194	1.350	12.16	73.73	34.44	2.59	0.00	-17.05

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme
(3) Coordenades del centre de gravetat

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	0.00	0.00	0.00
L_K	1.350	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

$$\frac{h_w}{t_w} \le k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

9.00 ≤ 217.33 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima	h_w : *72.00*	mm
t_w: Gruix de l'ànima.	t_w : *8.00*	mm
A_w: Àrea de l'ànima.	A_w : *5.76*	cm²
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida.	A_{fc} : *6.40*	cm²
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció.	k : *0.30*	
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.	E : *210000*	MPa
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida.	f_{yf} : *275.00*	MPa

Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.001*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N194, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VA.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — N_{Ed} : *0.22* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *318.48* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal.	A : *12.16*	cm²
f_y: Límit elàstic.	f_y : *275.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.	γ_{M0} : *1.05*	

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.002*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N79, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — $N_{c,Ed}$: *0.74* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *318.48* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció.	**Classe** : *2*	
A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.	A : *12.16*	cm²

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)

Si l'esveltesa $\bar{\lambda} \leq 0.2$ o la relació $N_{c,Ed} / N_{cr} \leq 0.04$ es pot ignorar l'efecte del vinclament, i comprovar únicament la resistència de la secció transversal.

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda. $\bar{\lambda}$: 0.92

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

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: Relació d'axials. $N_{c,Ed}/N_{cr}$: 0.002

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : 12.16 cm²

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. N_{cr} : 391.67 kN

L'axial crític de vinclament elàstic N_{cr} és el menor dels valors obtinguts en a) i b)

a) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Y. $N_{cr,y}$: ∞

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

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexotorsió. $N_{cr,FT}$: 391.67 kN

$$N_{cr,FT} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot \left[\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right) - \sqrt{\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right)^2 - 4 \cdot \beta \cdot N_{cr,z} \cdot N_{cr,T}} \right]$$

On:

$N_{cr,z}$: Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z. $N_{cr,z}$: 391.67 kN

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

$N_{cr,T}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per torsió. $N_{cr,T}$: ∞

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

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. I_y : 73.73 cm4

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. I_z : 34.44 cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme I_t : 2.59 cm4

I_w: Constant de guerxesa de la secció. I_w : 8.06 cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. **E** : 210000 MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. **G** : 81000 MPa

L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y. L_{ky} : 0.000 m

L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z. L_{kz} : 1.350 m

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. L_{kt} : 0.000 m

β: Constant adimensional obtinguda mitjançant la següent expressió: β : 0.71

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0^2 + z_0^2}{i_0^2} \right)$$

On:

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. i_0 : 3.53 cm

$$i_0 = \left(i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2\right)^{0,5}$$

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. i_y : 2.46 cm; i_z : 1.68 cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. y_0 : 0.00 mm; z_0 : -18.95 mm

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.943** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N79, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VB.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^+ : 5.29 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N79, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^- : 5.75 kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 6.10 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : 1

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. $W_{pl,y}$: 23.28 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.054** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N79, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VC.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — **M_{Ed}^+** : *0.20* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N79, per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+1.5·T2+0.9·V1+0.9·VD.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — **M_{Ed}^-** : *0.15* kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *3.65* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : *1*

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — **$W_{pl,z}$** : *13.95* cm³

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.056** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N79, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — **V_{Ed}** : *5.17* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$** ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. — **A_v** : *6.08* cm²

$$A_v = A - b \cdot t_f + (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. — **A** : *12.16* cm²

b: Ample total de la secció. — **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. — **t_f** : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. — **t_w** : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.003** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VC.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — **V_{Ed}** : *0.27* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$** ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. — **A_v** : *6.08* cm²

$$A_v = b \cdot t_f - (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

b: Ample total de la secció. — **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. — **t_f** : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. — **t_w** : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim **V_{Ed}** no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant **$V_{c,Rd}$**.

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

5.17 kN ≤ **45.97 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *5.17* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd}$** : *91.94* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim **V_{Ed}** no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant **$V_{c,Rd}$**.

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

0.27 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VC.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : *0.27* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd}$** : *91.94* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.965*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.956*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.589*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N79, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. **$N_{c,Ed}$** : *0.65* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament.
$M_{y,Ed}$: *5.73* kN·m
$M_{z,Ed}$: *0.08* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple.
Classe : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistència a compressió de la secció bruta. **$N_{pl,Rd}$** : *318.48* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament.
$M_{pl,Rd,y}$: *6.10* kN·m
$M_{pl,Rd,z}$: *3.65* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *12.16* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.
$W_{pl,y}$: *23.28* cm³
$W_{pl,z}$: *13.95* cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : *1.00*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

K_{yz} : *0.60*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

K_{zy} : *0.60*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : *1.00*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *1.00*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{yy} : *1.00*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : *1.00*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : *1.00*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1)\cdot\left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right)\cdot n_{pl}\right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : *1.00*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

a_{LT} : *0.96*

$$b_{LT} = 0.5\cdot a_{LT}\cdot\bar{\lambda}_0^2\cdot\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}\cdot\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

b_{LT} : *0.00*

$$c_{LT} = 10\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0^2}{5+\bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}$$

c_{LT} : *0.00*

$$d_{LT} = 2\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0}{0.1+\bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}\cdot\frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z}\cdot M_{pl,Rd,z}}$$

d_{LT} : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0}{0.1+\bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}$$

e_{LT} : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$

w_y : *1.50*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$

w_z : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

n_{pl} : *0.00*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2\cdot\sqrt{C_1}\cdot\sqrt[4]{\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)\cdot\left(1-\frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$

0.00 ≤ **0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$

$C_{m,y}$: *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$

$C_{m,z}$: *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$

$C_{m,LT}$: *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent.

$C_{m,y,0}$: *1.00*
$C_{m,z,0}$: *1.00*

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

C_1 : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

χ_y : *1.00*
χ_z : *1.00*

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional.

χ_{LT} : *1.00*

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$.

$\bar{\lambda}_{màx}$: *0.92*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

$\bar{\lambda}_y$: *0.00*
$\bar{\lambda}_z$: *0.92*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

$\bar{\lambda}_{LT}$: *0.00*

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme.

$\bar{\lambda}_0$: *0.00*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

$W_{el,y}$: *12.92* cm³
$W_{el,z}$: *8.61* cm³

$N_{cr,y}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y.

$N_{cr,y}$: ∞

$N_{cr,z}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z.

$N_{cr,z}$: *391.67* kN

$N_{cr,FT}$: Esforç axial crític elàstic per a vinclament per flexió i torsió.

$N_{cr,FT}$: *391.67* kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.

I_y : *73.73* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_t : *2.59* cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim V_{Ed} és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

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

5.17 kN ≤ **45.92 kN** ✓

On:

$V_{Ed,z}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

$V_{Ed,z}$: *5.17* kN

$V_{c,Rd,z}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant.

$V_{c,Rd,z}$: *91.84* kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$

η : ***0.004*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals.

T_{Ed} : *0.00* kN·m

El moment torçor resistent de càlcul T_{Rd} ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}}W_T\,{}^{f_y}\!/_{\gamma_{M0}}$$

T_{Rd} : *0.49* kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

W_T : *3.24* cm³

f_y: Límit elàstic.

f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.056*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N79, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *5.17* kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : *0.00* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\,V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *91.84* kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: *91.94* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.40* MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : *3.24* cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.003*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VC.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *0.25* kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : *0.00* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\,V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: *91.84* kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: *91.94* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.40* MPa

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

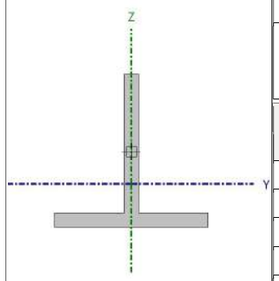
Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : *3.24* cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Perfil: T80.80.8
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

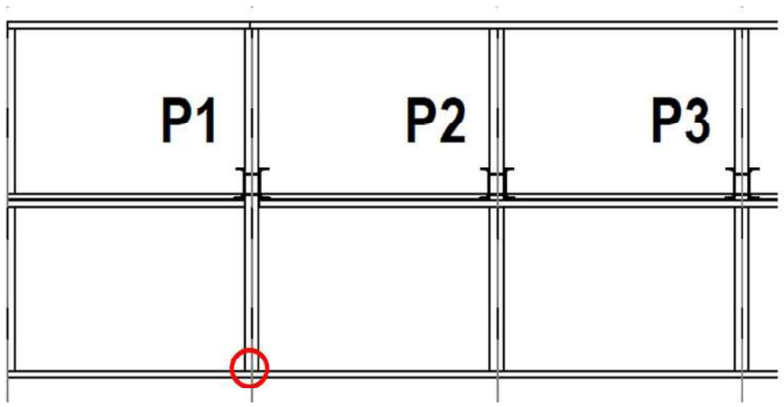


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques					
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N52	N136	1.350	12.16	73.73	34.44	2.59	0.00	-17.05

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme
(3) Coordenades del centre de gravetat

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	2.00	0.00	0.00	0.00
L_K	2.700	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

$$\frac{h_w}{t_w} \le k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

9.00 ≤ 217.33 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima — h_w : *72.00* mm
t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm
A_w: Àrea de l'ànima. — A_w : *5.76* cm²
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. — A_{fc} : *6.40* cm²
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. — **k** : *0.30*
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa

f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. — f_{yf} : *275.00* MPa

Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.001*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N136, per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — N_{Ed} : *0.18* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *318.48* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. — **A** : *12.16* cm²
f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.002*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N52, per a la combinació d'accions 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V4+0.9·VC.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — $N_{c,Ed}$: *0.68* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *318.48* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció. — **Classe** : *2*

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : 12.16 cm²
f_y: Límit elàstic. **f_y** : 275.00 MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : 1.05

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)
Si l'esveltesa $\bar{\lambda} \leq 0.2$ o la relació **$N_{c,Ed}$ / N_{cr}** ≤ 0.04 es pot ignorar l'efecte del vinclament, i comprovar únicament la resistència de la secció transversal.

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda. $\bar{\lambda}$: 1.85

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

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: Relació d'axials. **$N_{c,Ed}/N_{cr}$** : 0.007

On:
A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : 12.16 cm²
f_y: Límit elàstic. **f_y** : 275.00 MPa
N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. **N_{cr}** : 97.92 kN

L'axial crític de vinclament elàstic **N_{cr}** és el menor dels valors obtinguts en a) i b)

a) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Y. **$N_{cr,y}$** : ∞

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

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexotorsió. **$N_{cr,FT}$** : 97.92 kN

$$N_{cr,FT} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot \left[\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right) - \sqrt{\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right)^2 - 4 \cdot \beta \cdot N_{cr,z} \cdot N_{cr,T}} \right]$$

On:
$N_{cr,z}$: Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z. **$N_{cr,z}$** : 97.92 kN

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

$N_{cr,T}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per torsió. **$N_{cr,T}$** : ∞

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

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **I_y** : 73.73 cm4
I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. **I_z** : 34.44 cm4
I_t: Mòdul de torsió uniforme **I_t** : 2.59 cm4
I_w: Constant de guerxesa de la secció. **I_w** : 8.06 cm6
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. **E** : 210000 MPa
G: Mòdul d'elasticitat transversal. **G** : 81000 MPa
L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y. **L_{ky}** : 0.000 m
L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z. **L_{kz}** : 2.700 m
L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. **L_{kt}** : 0.000 m
β: Constant adimensional obtinguda mitjançant la següent expressió: **β** : 0.71

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0^2 + z_0^2}{i_0^2} \right)$$

On:

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. **i_0** : 3.53 cm

$$i_0 = \left(i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2\right)^{0,5}$$

Essent:
i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. **i_y** : 2.46 cm **i_z** : 1.68 cm
y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. **y_0** : 0.00 mm **z_0** : -18.95 mm

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)
S'ha de satisfer:

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

η : **0.904** ✓

Per flexió positiva:
L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N52, per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VB.
M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^+** : 5.28 kN·m
Per flexió negativa:
L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N52, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V4+0.9·VA.
M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}^-** : 5.52 kN·m
El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 6.10 kN·m

On:
Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : 1
$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. **$W_{pl,y}$** : 23.28 cm³

f_y: Límit elàstic. **f_y** : 275.00 MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. **γ_{M0}** : 1.05

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)
No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)
S'ha de satisfer:

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

η : **0.082** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N52, per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VC+0.75·N1.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : *0.22* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N52, per a la combinació d'accions 1.35·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VD.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : *0.30* kN·m

El moment flector resistent de càlcul **$M_{c,Rd}$** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *3.65* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : *1*

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,z}$: *13.95* cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.055** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N52, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·VA.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : *5.05* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$** ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. — A_v : *6.08* cm²

$$A_v = A - b \cdot t_f + (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. — **A** : *12.16* cm²

b: Ample total de la secció. — **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. — t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.005** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions 1.35·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VD.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : *0.42* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$** ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. — A_v : *6.08* cm²

$$A_v = b \cdot t_f - (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

b: Ample total de la secció. — **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. — t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim **V_{Ed}** no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant **$V_{c,Rd}$**.

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

5.05 kN ≤ **45.97 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·VA.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — **V_{Ed}** : *5.05* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. — **$V_{c,Rd}$** : *91.94* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim **V_{Ed}** no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant **$V_{c,Rd}$**.

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

0.42 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 1.35·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VD.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — **V_{Ed}** : *0.42* kN

$V_{c,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. — **$V_{c,Rd}$** : *91.94* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.956*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.940*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.598*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N52, per a la combinació d'accions 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V4+0.9·VA.

On:

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *0.65* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament. — **$M_{y,Ed}^{-}$** : *5.52* kN·m; **$M_{z,Ed}^{-}$** : *0.18* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. — **Classe** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistència a compressió de la secció bruta. — **$N_{pl,Rd}$** : *318.48* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. — **$M_{pl,Rd,y}$** : *6.10* kN·m; **$M_{pl,Rd,z}$** : *3.65* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. — **A** : *12.16* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — **$W_{pl,y}$** : *23.28* cm³; **$W_{pl,z}$** : *13.95* cm³

f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M1}** : *1.05*

K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz}: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

K_{yy} : *1.00*

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

K_{yz} : *0.61*

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

K_{zy} : *0.60*

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

K_{zz} : *1.01*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *1.00*

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2\right) \cdot n_{pl} - b_{LT}\right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{yy} : *1.00*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right) \cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{yz} : *1.00*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right) \cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

C_{zy} : *1.00*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right) \cdot n_{pl}\right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

C_{zz} : 1.00

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ a_{LT} : 0.96

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ b_{LT} : 0.00

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ c_{LT} : 0.00

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$ d_{LT} : 0.00

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$ e_{LT} : 0.00

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ w_y : 1.50

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ w_z : 1.50

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ n_{pl} : 0.00

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$ **0.00 ≤ 0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$ $C_{m,y}$: 1.00

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ $C_{m,z}$: 1.00

$$C_{m,LT} = 1.00$$ $C_{m,LT}$: 1.00

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. — $C_{m,y,0}$: 1.00; $C_{m,z,0}$: 1.00

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. — C_1 : 1.00

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — χ_y : 1.00; χ_z : 1.00

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. — χ_{LT} : 1.00

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. — $\bar{\lambda}_{màx}$: 1.85

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. — $\bar{\lambda}_y$: 0.00; $\bar{\lambda}_z$: 1.85

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. — $\bar{\lambda}_{LT}$: 0.00

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment — $\bar{\lambda}_0$: 0.00

uniforme.

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. — $W_{el,y}$: 12.92 cm³; $W_{el,z}$: 8.61 cm³

$N_{cr,y}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y. — $N_{cr,y}$: ∞

$N_{cr,z}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z. — $N_{cr,z}$: 97.92 kN

$N_{cr,FT}$: Esforç axial crític elàstic per a vinclament per flexió i torsió. — $N_{cr,FT}$: 97.92 kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. — I_y : 73.73 cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme — I_t : 2.59 cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim V_{Ed} és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·VA.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **5.05 kN ≤ 45.97 kN** ✓

On:

$V_{Ed,z}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — $V_{Ed,z}$: 5.05 kN

$V_{c,Rd,z}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. — $V_{c,Rd,z}$: 91.94 kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$ η < ***0.001*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions PP+CM1-SX-0.3·SY.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. — T_{Ed} : 0.00 kN·m

El moment torçor resistent de càlcul T_{Rd} ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \, f_y / \gamma_{M0}$$ T_{Rd} : 0.49 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. — W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.015*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions PP+CM1+0.6·Q1+0.6·Q6+0.3·SX+SY.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *1.39* kN

$\mathbf{T_{Ed}}$: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. $\mathbf{T_{Ed}}$: *0.00* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$ ve donat per:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\,V_{pl,Rd}$$

$\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$: *91.93* kN

On:

$\mathbf{V_{pl,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $\mathbf{V_{pl,Rd}}$: *91.94* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.01* MPa

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

Essent:

$\mathbf{W_T}$: Mòdul de resistència a torsió. $\mathbf{W_T}$: *3.24* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.001*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions PP+CM1+0.6·Q1+0.6·Q4-SX-0.3·SY.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.13* kN

$\mathbf{T_{Ed}}$: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. $\mathbf{T_{Ed}}$: *0.00* kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$ ve donat per:

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}}\,V_{pl,Rd}$$

$\mathbf{V_{pl,T,Rd}}$: *91.93* kN

On:

$\mathbf{V_{pl,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $\mathbf{V_{pl,Rd}}$: *91.94* kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: *0.01* MPa

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

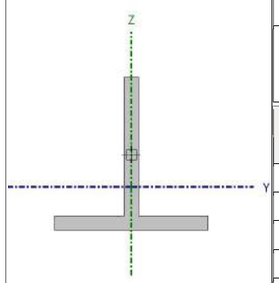
Essent:

$\mathbf{W_T}$: Mòdul de resistència a torsió. $\mathbf{W_T}$: *3.24* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Perfil: T80.80.8
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

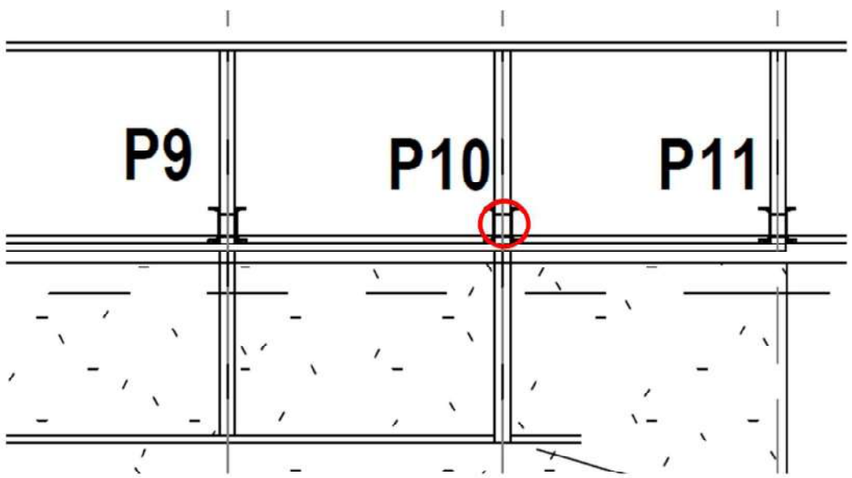


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques					
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N78	N195	1.350	12.16	73.73	34.44	2.59	0.00	-17.05

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme
(3) Coordenades del centre de gravetat

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	0.00	0.00	0.00
L_K	1.350	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

$$\frac{h_w}{t_w} \le k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

9.00 ≤ 217.33 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima — **h_w** : *72.00* mm
t_w: Gruix de l'ànima. — **t_w** : *8.00* mm
A_w: Àrea de l'ànima. — **A_w** : *5.76* cm²
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. — **A_{fc}** : *6.40* cm²

k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. — **k** : *0.30*
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. — **f_{yf}** : *275.00* MPa

Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.001*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N195, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VA.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — **N_{Ed}** : *0.23* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *318.48* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. — **A** : *12.16* cm²
f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.002*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N78, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *0.73* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *318.48* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció. **Classe** : 2

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : 12.16 cm²

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)

Si l'esveltesa $\bar{\lambda} \leq 0.2$ o la relació $N_{c,Ed} / N_{cr} \leq 0.04$ es pot ignorar l'efecte del vinclament, i comprovar únicament la resistència de la secció transversal.

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda. $\bar{\lambda}$: 0.92

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

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: Relació d'axials. $N_{c,Ed}/N_{cr}$: 0.002

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : 12.16 cm²

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. N_{cr} : 391.67 kN

L'axial crític de vinclament elàstic N_{cr} és el menor dels valors obtinguts en a) i b)

a) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Y. $N_{cr,y}$: ∞

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

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexotorsió. $N_{cr,FT}$: 391.67 kN

$$N_{cr,FT} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot \left[\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right) - \sqrt{\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right)^2 - 4 \cdot \beta \cdot N_{cr,z} \cdot N_{cr,T}} \right]$$

On:

$N_{cr,z}$: Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z. $N_{cr,z}$: 391.67 kN

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

$N_{cr,T}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per torsió. $N_{cr,T}$: ∞

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

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. I_y : 73.73 cm4

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. I_z : 34.44 cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme I_t : 2.59 cm4

I_w: Constant de guerxesa de la secció. I_w : 8.06 cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. **E** : 210000 MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. **G** : 81000 MPa

L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y. L_{ky} : 0.000 m

L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z. L_{kz} : 1.350 m

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. L_{kt} : 0.000 m

β: Constant adimensional obtinguda mitjançant la següent expressió: β : 0.71

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0^2 + z_0^2}{i_0^2} \right)$$

On:

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. i_0 : 3.53 cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. i_y : 2.46 cm; i_z : 1.68 cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. y_0 : 0.00 mm; z_0 : -18.95 mm

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.945** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N78, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VB.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^+ : 5.30 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N78, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^- : 5.76 kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: 6.10 kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : 1

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. $W_{pl,y}$: 23.28 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.029*** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N78, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q4+0.9·T1+1.5·V3+1.5·VC.

M_{Ed}^{+}: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^{+} : *0.10* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N78, per a la combinació d'accions PP+CM1+0.6·Q2+0.6·Q5+SX+0.3·SY.

M_{Ed}^{-}: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^{-} : *0.10* kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *3.65* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : *1*

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,z}$: *13.95* cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.056*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N78, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : *5.18* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. — A_v : *6.08* cm²

$$A_v = A - b \cdot t_f + (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. — **A** : *12.16* cm²

b: Ample total de la secció. — **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. — t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.002*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VC.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. — V_{Ed} : *0.14* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. — A_v : *6.08* cm²

$$A_v = b \cdot t_f - (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

b: Ample total de la secció. — **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. — t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

5.18 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *5.18* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *91.94* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

0.14 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VC.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.14* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *91.94* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.955*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.951*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.578*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N78, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$\mathbf{N_{c,Ed}}$: Valor de càlcul de la força de compressió. $\mathbf{N_{c,Ed}}$: *0.63* kN

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{M_{y,Ed}}$: *5.75* kN·m; $\mathbf{M_{z,Ed}}$: *0.04* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. **Classe** : *1*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistència a compressió de la secció bruta. $\mathbf{N_{pl,Rd}}$: *318.48* kN

$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$, $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: *6.10* kN·m; $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: *3.65* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *12.16* cm²

$\mathbf{W_{pl,y}}$, $\mathbf{W_{pl,z}}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *23.28* cm³; $\mathbf{W_{pl,z}}$: *13.95* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M1} : *1.05*

$\mathbf{K_{yy}}$, $\mathbf{K_{yz}}$, $\mathbf{K_{zy}}$, $\mathbf{K_{zz}}$: Coeficients d'interacció.

$$\mathbf{k_{yy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$\mathbf{K_{yy}}$: *1.00*

$$\mathbf{k_{yz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

$\mathbf{K_{yz}}$: *0.60*

$$\mathbf{k_{zy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$\mathbf{K_{zy}}$: *0.60*

$$\mathbf{k_{zz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

$\mathbf{K_{zz}}$: *1.00*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *1.00*

$$\mathbf{C_{yy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$\mathbf{C_{yy}}$: *1.00*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1)\cdot\left[\left(2 - 14\cdot\frac{C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right)\cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \geq 0.6\cdot\sqrt{\frac{w_z}{w_y}}\cdot\frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ **C_{yz}** : *1.00*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1)\cdot\left[\left(2 - 14\cdot\frac{C_{my}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right)\cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \geq 0.6\cdot\sqrt{\frac{w_y}{w_z}}\cdot\frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ **C_{zy}** : *1.00*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1)\cdot\left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right)\cdot n_{pl}\right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ **C_{zz}** : *1.00*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ **a_{LT}** : *0.96*

$$b_{LT} = 0.5\cdot a_{LT}\cdot\bar{\lambda}_0^2\cdot\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}\cdot\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ **b_{LT}** : *0.00*

$$c_{LT} = 10\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **c_{LT}** : *0.00*

$$d_{LT} = 2\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}\cdot\frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z}\cdot M_{pl,Rd,z}}$$ **d_{LT}** : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **e_{LT}** : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ **w_y** : *1.50*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ **w_z** : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ **n_{pl}** : *0.00*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2\cdot\sqrt{C_1}\cdot\sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)\cdot\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$ **0.00 ≤ 0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$ **$C_{m,y}$** : *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ **$C_{m,z}$** : *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$ **$C_{m,LT}$** : *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. **$C_{m,y,0}$** : *1.00* **$C_{m,z,0}$** : *1.00*

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. **C_1** : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, **χ_y** : *1.00*

respectivament. **χ_z** : *1.00*

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. **χ_{LT}** : *1.00*

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. **$\bar{\lambda}_{màx}$** : *0.92*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. **$\bar{\lambda}_y$** : *0.00* **$\bar{\lambda}_z$** : *0.92*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. **$\bar{\lambda}_{LT}$** : *0.00*

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme. **$\bar{\lambda}_0$** : *0.00*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. **$W_{el,y}$** : *12.92* cm³ **$W_{el,z}$** : *8.61* cm³

$N_{cr,y}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y. **$N_{cr,y}$** : ∞

$N_{cr,z}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z. **$N_{cr,z}$** : *391.67* kN

$N_{cr,FT}$: Esforç axial crític elàstic per a vinclament per flexió i torsió. **$N_{cr,FT}$** : *391.67* kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **I_y** : *73.73* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme **I_t** : *2.59* cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim **V_{Ed}** és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$**.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **5.18 kN ≤ 45.92 kN** ✓

On:

$V_{Ed,z}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **$V_{Ed,z}$** : *5.18* kN

$V_{c,Rd,z}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd,z}$** : *91.84* kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$ **η** : ***0.004*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : *0.00* kN·m

El moment torçor resistent de càlcul **T_{Rd}** ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}}W_T\,f_y/\gamma_{M0}$$

T_{Rd} : 0.49 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.056** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N78, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 5.18 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 91.84 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 91.94 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 0.40 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.001** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VC.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 0.14 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 91.84 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 91.94 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 0.40 MPa

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

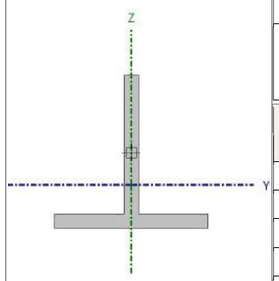
Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Perfil: T80.80.8
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

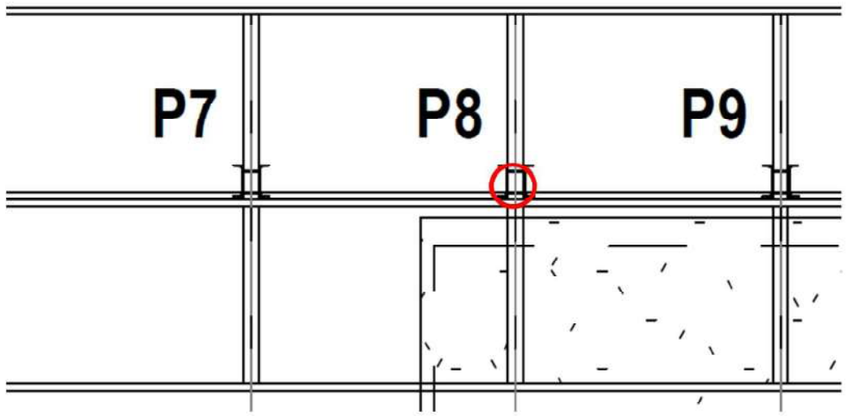


Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques					
Inicial	Final		Àrea (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)	y_g(3) (mm)	z_g(3) (mm)
N77	N196	1.350	12.16	73.73	34.44	2.59	0.00	-17.05

Notes:
(1) Inèrcia respecte l'eix indicat
(2) Moment d'inèrcia a torsió uniforme
(3) Coordenades del centre de gravetat

	Vinclament		Vinclament lateral	
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	0.00	0.00	0.00
L_K	1.350	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notació:
β: Coeficient de vinclament
L_K: Longitud de vinclament (m)
C_m: Coeficient de moments
C_1: Factor de modificació per al moment crític



Abonyegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

$$\frac{h_w}{t_w} \le k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

9.00 ≤ 217.33 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima — h_w : *72.00* mm
t_w: Gruix de l'ànima. — t_w : *8.00* mm
A_w: Àrea de l'ànima. — A_w : *5.76* cm²
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida. — A_{fc} : *6.40* cm²
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció. — **k** : *0.30*

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida. — **f_{yf}** : *275.00* MPa
Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.001*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N196, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VA.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. — **N_{Ed}** : *0.22* kN

La resistència de càlcul a tracció **$N_{t,Rd}$** ve donada per:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{t,Rd}$: *318.48* kN

On:

A: Àrea de la secció transversal. — **A** : *12.16* cm²
f_y: Límit elàstic. — **f_y** : *275.00* MPa
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — **γ_{M0}** : *1.05*

Resistència a compressió (Codi Estructural, Article A22.6.2.4)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.002*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N77, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

$N_{c,Ed}$: Valor de càlcul de la força de compressió. — **$N_{c,Ed}$** : *0.73* kN

La resistència de càlcul a compressió **$N_{c,Rd}$** ve donat per:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$N_{c,Rd}$: *318.48* kN

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de — **Classe** : *2*

desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans comprimits d'una secció.

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : *12.16* cm²

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.1)

Si l'esveltesa $\bar{\lambda} \leq 0.2$ o la relació $N_{c,Ed} / N_{cr} \leq 0.04$ es pot ignorar l'efecte del vinclament, i comprovar únicament la resistència de la secció transversal.

$\bar{\lambda}$: Esveltesa reduïda. — $\bar{\lambda}$: *0.92*

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

$N_{c,Ed}/N_{cr}$: Relació d'axials. — $N_{c,Ed}/N_{cr}$: *0.002*

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. — **A** : *12.16* cm²

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. — N_{cr} : *391.67* kN

L'axial crític de vinclament elàstic N_{cr} és el menor dels valors obtinguts en a) i b)

a) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Y. — $N_{cr,y}$: ∞

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

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexotorsió. — $N_{cr,FT}$: *391.67* kN

$$N_{cr,FT} = \frac{1}{2 \cdot \beta} \cdot \left[\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right) - \sqrt{\left(N_{cr,z} + N_{cr,T}\right)^2 - 4 \cdot \beta \cdot N_{cr,z} \cdot N_{cr,T}} \right]$$

On:

$N_{cr,z}$: Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z. — $N_{cr,z}$: *391.67* kN

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

$N_{cr,T}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per torsió. — $N_{cr,T}$: ∞

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

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. — I_y : *73.73* cm4

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. — I_z : *34.44* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme — I_t : *2.59* cm4

I_w: Constant de guerxesa de la secció. — I_w : *8.06* cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal. — **E** : *210000* MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal. — **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y. — L_{ky} : *0.000* m

L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z. — L_{kz} : *1.350* m

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió. — L_{kt} : *0.000* m

β: Constant adimensional obtinguda mitjançant la següent expressió: — β : *0.71*

$$\beta = 1 - \left(\frac{y_0^2 + z_0^2}{i_0^2} \right)$$

On:

i_0: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. — i_0 : *3.53* cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z. — i_y : *2.46* cm; i_z : *1.68* cm

y_0 , z_0: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció. — y_0 : *0.00* mm; z_0 : *-18.95* mm

Resistència a flexió eix Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : ***0.946*** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N77, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V3+0.9·VB.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^+ : *5.30* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N77, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. — M_{Ed}^- : *5.77* kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *6.10* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. — **Classe** : *1*

$W_{pl,y}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. — $W_{pl,y}$: *23.28* cm³

f_y: Límit elàstic. — f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. — γ_{M0} : *1.05*

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

No procedeix, atès que les longituds de vinclament lateral són nul·les.

Resistència a flexió eix Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.5)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.030** ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N77, per a la combinació d'accions PP+CM1+0.6·Q1+0.6·Q4-SX-0.3·SY.

M_{Ed}^+: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^+ : *0.11* kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N77, per a la combinació d'accions PP+CM1+0.6·Q5+SX+0.3·SY.

M_{Ed}^-: Valor de càlcul del moment flector. M_{Ed}^- : *0.09* kN·m

El moment flector resistent de càlcul $M_{c,Rd}$ ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$M_{c,Rd}$: *3.65* kN·m

On:

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels elements plans d'una secció a flexió simple. **Classe** : *1*

$W_{pl,z}$: Mòdul resistent plàstic de la secció. $W_{pl,z}$: *13.95* cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Z (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.056** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N77, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *5.18* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : *6.08* cm²

$$A_v = A - b \cdot t_f + (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *12.16* cm²

b: Ample total de la secció. **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a tall Y (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.002** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.900 m del nus N77, per a la combinació d'accions PP+CM1+0.6·Q1+0.6·Q4-SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : *0.15* kN

L'esforç tallant resistent de càlcul $V_{c,Rd}$ ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}$$

$V_{c,Rd}$: *91.94* kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. A_v : *6.08* cm²

$$A_v = b \cdot t_f - (t_f \cdot t_w)/2$$

Essent:

b: Ample total de la secció. **b** : *80.00* mm

t_f: Espessor de l'ala. t_f : *8.00* mm

t_w: Gruix de l'ànima. t_w : *8.00* mm

f_y: Límit elàstic. f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistència a moment flector Y i força tallant Z combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

5.18 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *5.18* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *91.94* kN

Resistència a moment flector Z i força tallant Y combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.8)

No és necessari reduir la resistència de càlcul a flexió, ja que l'esforç tallant sol·licitant de càlcul pèssim $\mathbf{V_{Ed}}$ no és superior al 50% de la resistència de càlcul a tallant $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

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

0.15 kN ≤ 45.97 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions PP+CM1+0.6·Q1+0.6·Q4-SX-0.3·SY.

$\mathbf{V_{Ed}}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.15* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *91.94* kN

Resistència a flexió i axial combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.9)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

η : ***0.953*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.950*** ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : ***0.576*** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N77, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q7+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

On:

$\mathbf{N_{c,Ed}}$: Valor de càlcul de la força de compressió. $\mathbf{N_{c,Ed}}$: *0.64* kN

$\mathbf{M_{y,Ed}}$, $\mathbf{M_{z,Ed}}$: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{M_{y,Ed}^-}$: *5.75* kN·m; $\mathbf{M_{z,Ed}^+}$: *0.03* kN·m

Classe: Classe de la secció, segons la capacitat de deformació i de desenvolupament de la resistència plàstica dels seus elements plans, per a axial i flexió simple. **Classe** : *1*

$\mathbf{N_{pl,Rd}}$: Resistència a compressió de la secció bruta. $\mathbf{N_{pl,Rd}}$: *318.48* kN

$\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$, $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: Resistència a flexió de la secció bruta en condicions plàstiques, respecte als eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{M_{pl,Rd,y}}$: *6.10* kN·m; $\mathbf{M_{pl,Rd,z}}$: *3.65* kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta. **A** : *12.16* cm²

$\mathbf{W_{pl,y}}$, $\mathbf{W_{pl,z}}$: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. $\mathbf{W_{pl,y}}$: *23.28* cm³; $\mathbf{W_{pl,z}}$: *13.95* cm³

$\mathbf{f_y}$: Límit elàstic. $\mathbf{f_y}$: *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M1} : *1.05*

$\mathbf{K_{yy}}$, $\mathbf{K_{yz}}$, $\mathbf{K_{zy}}$, $\mathbf{K_{zz}}$: Coeficients d'interacció.

$$\mathbf{k_{yy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$\mathbf{K_{yy}}$: *1.00*

$$\mathbf{k_{yz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

$\mathbf{K_{yz}}$: *0.60*

$$\mathbf{k_{zy}} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$\mathbf{K_{zy}}$: *0.60*

$$\mathbf{k_{zz}} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

$\mathbf{K_{zz}}$: *1.00*

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

μ_y : *1.00*

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

μ_z : *1.00*

$$\mathbf{C_{yy}} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$\mathbf{C_{yy}}$: *1.00*

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1)\cdot\left[\left(2 - 14\cdot\frac{C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5}\right)\cdot n_{pl} - c_{LT}\right] \geq 0.6\cdot\sqrt{\frac{w_z}{w_y}}\cdot\frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ **C_{yz}** : *1.00*

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1)\cdot\left[\left(2 - 14\cdot\frac{C_{my}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5}\right)\cdot n_{pl} - d_{LT}\right] \geq 0.6\cdot\sqrt{\frac{w_y}{w_z}}\cdot\frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$ **C_{zy}** : *1.00*

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1)\cdot\left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z}\cdot C_{mz}^2\cdot\bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT}\right)\cdot n_{pl}\right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$ **C_{zz}** : *1.00*

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$ **a_{LT}** : *0.96*

$$b_{LT} = 0.5\cdot a_{LT}\cdot\bar{\lambda}_0^2\cdot\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}\cdot\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$ **b_{LT}** : *0.00*

$$c_{LT} = 10\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **c_{LT}** : *0.00*

$$d_{LT} = 2\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}\cdot\frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z}\cdot M_{pl,Rd,z}}$$ **d_{LT}** : *0.00*

$$e_{LT} = 1.7\cdot a_{LT}\cdot\frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4}\cdot\frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y}\cdot\chi_{LT}\cdot M_{pl,Rd,y}}$$ **e_{LT}** : *0.00*

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$ **w_y** : *1.50*

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$ **w_z** : *1.50*

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$ **n_{pl}** : *0.00*

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2\cdot\sqrt{C_1}\cdot\sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)\cdot\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}}\right)}$$ **0.00 ≤ 0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$ **$C_{m,y}$** : *1.00*

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$ **$C_{m,z}$** : *1.00*

$$C_{m,LT} = 1.00$$ **$C_{m,LT}$** : *1.00*

$C_{m,y,0}$, $C_{m,z,0}$: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. **$C_{m,y,0}$** : *1.00* **$C_{m,z,0}$** : *1.00*

C_1: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems. **C_1** : *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, **χ_y** : *1.00*

respectivament. **χ_z** : *1.00*

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. **χ_{LT}** : *1.00*

$\bar{\lambda}_{màx}$: Esveltesa màxima entre $\bar{\lambda}_y$ y $\bar{\lambda}_z$. **$\bar{\lambda}_{màx}$** : *0.92*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. **$\bar{\lambda}_y$** : *0.00* **$\bar{\lambda}_z$** : *0.92*

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. **$\bar{\lambda}_{LT}$** : *0.00*

$\bar{\lambda}_0$: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme. **$\bar{\lambda}_0$** : *0.00*

$W_{el,y}$, $W_{el,z}$: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. **$W_{el,y}$** : *12.92* cm³ **$W_{el,z}$** : *8.61* cm³

$N_{cr,y}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y. **$N_{cr,y}$** : ∞

$N_{cr,z}$: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z. **$N_{cr,z}$** : *391.67* kN

$N_{cr,FT}$: Esforç axial crític elàstic per a vinclament per flexió i torsió. **$N_{cr,FT}$** : *391.67* kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **I_y** : *73.73* cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme **I_t** : *2.59* cm4

Resistència a flexió, axial i tallant combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.10)

No cal reduir les resistències de càlcul a flexió i a axial, ja que es pot ignorar l'efecte d'abonyegament per esforç tallant i, a més a més, el esforç tallant sol·licitador de càlcul pèssim **V_{Ed}** és més petit o igual que el 50% de l'esforç tallant resistent de càlcul **$V_{c,Rd}$**.

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$ **5.18 kN ≤ 45.92 kN** ✓

On:

$V_{Ed,z}$: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **$V_{Ed,z}$** : *5.18* kN

$V_{c,Rd,z}$: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **$V_{c,Rd,z}$** : *91.84* kN

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$ **η** : ***0.004*** ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
0.8·PP+0.8·CM1+1.5·Q6.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : *0.00* kN·m

El moment torçor resistent de càlcul **T_{Rd}** ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}}W_T\,f_y/\gamma_{M0}$$

T_{Rd} : 0.49 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.056** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N77, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 5.18 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 91.84 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 91.94 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 0.40 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05

Resistència a tallant Y i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

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

η : **0.002** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en un punt situat a una distància de 0.900 m del nus N77, per a la combinació d'accions
PP+CM1+0.6·Q1+0.6·Q4-SX-0.3·SY.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{Ed} : 0.15 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. T_{Ed} : 0.00 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït $V_{pl,T,Rd}$ ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y/\sqrt{3})/\gamma_{M0}}} V_{pl,Rd}$$

$V_{pl,T,Rd}$: 91.91 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. $V_{pl,Rd}$: 91.94 kN

$\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió. $\tau_{t,Ed}$: 0.11 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió. W_T : 3.24 cm³

f_y: Límit elàstic. f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material. γ_{M0} : 1.05