

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

Municipi
Castelldefels

Tipus d'actuació
Urbanització

Expedient
900965/24

Data
Març 2026

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

2/14
Volums

Índex de volums

D1 Memòria i annexos	D2 Plànols	D3 Plec de prescripcions tècniques	D4 Pressupost
01-07	08-10	11-13	14
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 drets 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	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	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	14 01. Amidaments 02. Estadística de partides 03. Quadre de preus n°1 04. Quadre de preus n°2 05. Pressupost 06. Resum de pressupost 07. Últim full

Barres	COMPROVACIONS (CODI ESTRUCTURAL)														Estat
	N ₁	N ₂	M _V	M _Z	V _Z	V ₁	M _V -V ₂	M _Z -V ₁	NM ₁ -M ₂	NM ₁ -M ₂ -V _Z	M ₁	M ₁ -V ₂	M ₁ -V ₁		
N271/N403	η = 1,2	η = 1,0	x: 0 m η = 12,8	x: 0 m η = 12,8	x: 0 m η = 2,5	x: 0 m η = 0,5	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 20,3	η < 0,1	η = 0,5	x: 0 m η = 2,5	x: 0 m η = 0,5	COMPLEX η = 20,3	
N403/N270	η = 1,2	η = 1,0	x: 1,375 m η = 24,6	x: 1,375 m η = 14,3	x: 1,375 m η = 3,0	x: 1,375 m η = 0,5	η < 0,1	η < 0,1	x: 0,917 m η = 33,3	η < 0,1	η = 0,5	x: 1,375 m η = 3,0	x: 1,375 m η = 0,4	COMPLEX η = 33,3	
N274/N401	x: 1,378 m η = 1,3	x: 0 m η = 1,2	x: 0 m η = 22,0	x: 0 m η = 41,3	x: 0 m η = 3,0	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 69,5	η < 0,1	η = 2,1	x: 0 m η = 3,0	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 69,5	
N401/N273	x: 1,377 m η = 1,3	x: 0 m η = 1,2	x: 1,377 m η = 25,0	x: 1,377 m η = 20,6	x: 1,377 m η = 3,1	x: 1,377 m η = 0,8	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 42,8	η < 0,1	η = 2,1	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,8	COMPLEX η = 42,8	
N275/N399	x: 1,377 m η = 1,6	x: 0 m η = 1,8	x: 0 m η = 28,3	x: 0 m η = 25,4	x: 0 m η = 3,1	x: 0 m η = 0,5	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 51,3	η < 0,1	η = 1,2	x: 0 m η = 3,1	x: 0 m η = 0,5	COMPLEX η = 51,3	
N399/N274	x: 1,378 m η = 1,6	x: 0 m η = 1,8	x: 1,378 m η = 17,7	x: 1,378 m η = 14,9	x: 1,378 m η = 2,7	x: 1,378 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0,23 m η = 32,2	η < 0,1	η = 1,2	x: 1,378 m η = 2,7	x: 1,378 m η = 0,6	COMPLEX η = 32,2	
N276/N397	x: 1,378 m η = 1,8	x: 0 m η = 1,9	x: 0 m η = 18,7	x: 0 m η = 18,7	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 49,8	η < 0,1	η = 1,4	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 49,8	
N397/N275	x: 1,377 m η = 1,8	x: 0 m η = 1,9	x: 1,377 m η = 28,7	x: 1,377 m η = 20,5	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 43,1	η < 0,1	η = 1,4	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,6	COMPLEX η = 43,1	
N277/N395	x: 1,377 m η = 1,9	x: 0 m η = 1,8	x: 0 m η = 26,7	x: 0 m η = 21,3	x: 0 m η = 3,0	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 41,8	η < 0,1	η = 1,3	x: 0 m η = 3,1	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 41,8	
N395/N276	x: 1,378 m η = 1,9	x: 0 m η = 1,8	x: 1,378 m η = 17,7	x: 1,378 m η = 18,8	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,378 m η = 34,7	η < 0,1	η = 1,3	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,6	COMPLEX η = 34,7	
N278/N393	x: 1,378 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,7	x: 0 m η = 18,4	x: 0 m η = 17,2	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 43,8	η < 0,1	η = 1,3	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 43,8	
N393/N277	x: 1,377 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,7	x: 1,377 m η = 28,4	x: 1,377 m η = 18,2	x: 1,377 m η = 3,1	x: 1,377 m η = 0,5	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 42,7	η < 0,1	η = 1,3	x: 1,377 m η = 3,1	x: 1,377 m η = 0,5	COMPLEX η = 42,7	
N279/N391	x: 1,377 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,6	x: 0 m η = 26,4	x: 0 m η = 19,2	x: 0 m η = 3,0	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 38,8	η < 0,1	η = 1,3	x: 0 m η = 3,0	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 38,8	
N391/N278	x: 1,378 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,6	x: 1,378 m η = 17,7	x: 1,378 m η = 20,2	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,378 m η = 37,5	η < 0,1	η = 1,3	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,6	COMPLEX η = 37,5	
N280/N389	x: 1,378 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,5	x: 0 m η = 18,5	x: 0 m η = 15,4	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 41,2	η < 0,1	η = 1,3	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 41,2	
N389/N279	x: 1,377 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,5	x: 1,377 m η = 28,6	x: 1,377 m η = 18,5	x: 1,377 m η = 3,1	x: 1,377 m η = 0,5	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 44,9	η < 0,1	η = 1,3	x: 1,377 m η = 3,1	x: 1,377 m η = 0,5	COMPLEX η = 44,9	
N281/N387	x: 1,377 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,3	x: 0 m η = 26,4	x: 0 m η = 18,8	x: 0 m η = 3,0	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 40,0	η < 0,1	η = 1,3	x: 0 m η = 3,1	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 40,0	
N387/N280	x: 1,378 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,3	x: 1,378 m η = 17,8	x: 1,378 m η = 20,5	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,378 m η = 39,3	η < 0,1	η = 1,3	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,6	COMPLEX η = 39,3	
N282/N385	x: 1,378 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,3	x: 0 m η = 18,7	x: 0 m η = 15,5	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 39,5	η < 0,1	η = 1,3	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 39,5	
N385/N281	x: 1,377 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,3	x: 0 m η = 28,6	x: 1,377 m η = 19,2	x: 1,377 m η = 3,1	x: 1,377 m η = 0,5	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 46,2	η < 0,1	η = 1,3	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,5	COMPLEX η = 46,2	
N283/N383	x: 1,377 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,3	x: 0 m η = 26,8	x: 0 m η = 19,7	x: 0 m η = 3,1	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 41,0	η < 0,1	η = 1,3	x: 0 m η = 3,1	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 41,0	
N383/N282	x: 1,378 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,3	x: 1,378 m η = 17,9	x: 1,378 m η = 21,9	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,378 m η = 40,8	η < 0,1	η = 1,3	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,6	COMPLEX η = 40,8	
N284/N381	x: 1,378 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,2	x: 0 m η = 18,8	x: 0 m η = 16,1	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 37,7	η < 0,1	η = 1,3	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 37,7	
N381/N283	x: 1,377 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,2	x: 1,377 m η = 28,6	x: 1,377 m η = 20,3	x: 1,377 m η = 3,1	x: 1,377 m η = 0,5	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 47,1	η < 0,1	η = 1,3	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,5	COMPLEX η = 47,1	
N285/N379	x: 1,377 m η = 1,9	x: 0 m η = 1,1	x: 0 m η = 27,1	x: 0 m η = 20,8	x: 0 m η = 3,1	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 41,7	η < 0,1	η = 1,3	x: 0 m η = 3,1	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 41,7	
N379/N284	x: 1,378 m η = 1,9	x: 0 m η = 1,1	x: 1,378 m η = 18,0	x: 1,378 m η = 23,4	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,378 m η = 42,2	η < 0,1	η = 1,3	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,6	COMPLEX η = 42,2	
N286/N377	x: 1,378 m η = 1,8	x: 0 m η = 1,0	x: 0 m η = 19,0	x: 0 m η = 16,1	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0,23 m η = 30,1	η < 0,1	η = 1,4	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 30,1	
N377/N285	x: 1,377 m η = 1,8	x: 0 m η = 1,0	x: 0 m η = 28,9	x: 1,377 m η = 22,5	x: 1,377 m η = 3,1	x: 1,377 m η = 0,5	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 50,2	η < 0,1	η = 1,4	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,5	COMPLEX η = 50,2	
N287/N375	x: 1,377 m η = 1,6	x: 0 m η = 0,8	x: 0 m η = 21,3	x: 0 m η = 10,1	x: 0 m η = 2,9	x: 0 m η = 0,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 31,8	η < 0,1	η = 1,6	x: 0 m η = 2,9	x: 0 m η = 0,6	COMPLEX η = 31,8	
N375/N286	x: 1,378 m η = 1,6	x: 0 m η = 0,8	x: 1,378 m η = 18,1	x: 1,378 m η = 23,0	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,5	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,378 m η = 38,8	η < 0,1	η = 1,6	x: 1,378 m η = 2,6	x: 1,378 m η = 0,5	COMPLEX η = 38,8	
N273/N271	η = 0,9	η = 0,1	x: 1,07 m η = 15,4	x: 1,07 m η = 6,2	x: 0 m η = 2,0	x: 0 m η = 0,2	x: 0,214 m η < 0,1	x: 0,214 m η < 0,1	x: 1,07 m η = 18,7	x: 0,214 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 18,7	
N201/N214	η = 92,7	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽²⁾	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽⁵⁾	N _R P ⁽⁶⁾	N _R P ⁽⁶⁾	N _R P ⁽⁸⁾	N _R P ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 92,7	
N203/N205	η = 14,1	N _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽²⁾	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽⁵⁾	N _R P ⁽⁶⁾	N _R P ⁽⁶⁾	N _R P ⁽⁸⁾	N _R P ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 14,1	
N186/N289	x: 1,378 m η = 1,0	x: 0 m η = 0,8	x: 0,689 m η = 32,9	x: 0,689 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,689 m η = 33,9	x: 0,23 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 33,9	
N289/N148	x: 1,377 m η = 0,9	x: 0 m η = 0,8	x: 0,688 m η = 32,9	x: 0,688 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,688 m η = 33,8	x: 0,229 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 33,8	
N187/N293	x: 1,378 m η = 1,5	x: 0 m η = 1,2	x: 0 m η = 32,9	x: 0,689 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,689 m η = 34,3	x: 0,23 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 34,3	
N293/N150	x: 1,377 m η = 1,5	x: 0 m η = 1,2	x: 0,688 m η = 32,9	x: 0,688 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,688 m η = 34,2	x: 0,229 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 34,2	
N295/N187	x: 1,377 m η = 1,6	x: 0 m η = 1,2	x: 0,688 m η = 32,9	x: 0,688 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,688 m η = 34,2	x: 0,229 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 34,2	
N152/N295	x: 1,378 m η = 1,6	x: 0 m η = 1,2	x: 0,689 m η = 32,9	x: 0,689 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,689 m η = 34,3	x: 0,23 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 34,3	
N200/N297	x: 1,378 m η = 1,9	x: 0 m η = 1,4	x: 0,689 m η = 32,9	x: 0,689 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,689 m η = 34,6	x: 0,23 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 34,6	
N297/N152	x: 1,377 m η = 1,9	x: 0 m η = 1,4	x: 0,688 m η = 32,9	x: 0,688 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,688 m η = 34,5	x: 0,229 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 34,5	
N154/N299	x: 1,378 m η = 1,9	x: 0 m η = 1,4	x: 0,689 m η = 32,9	x: 0,689 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,689 m η = 34,6	x: 0,23 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P ⁽²⁾	COMPLEX η = 34,6	
N299/N200	x: 1,377 m η = 1,9	x: 0 m η = 1,4	x: 0,688 m η = 32,9	x: 0,688 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,688 m η = 34,5	x: 0,229 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _R P ⁽¹⁾	N _R P ⁽²⁾	N _R P		

Barres	COMPROVACIONS (CODI ESTRUCTURAL)													Estat
	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _t V _z	M _z V _y	NM _t M _z	NM _t M _z V _y V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _y	
N353/N136	x: 1,377 m η = 2,2	x: 0 m η = 1,4	x: 1,377 m η = 23,2	x: 1,377 m η = 2,7	x: 0 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 24,8	η < 0,1	η = 0,1	x: 0 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 24,8
N138/N351	x: 1,377 m η = 2,0	x: 0 m η = 1,3	x: 0 m η = 22,3	x: 1,377 m η = 1,9	x: 0 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 23,6	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 23,6
N351/N142	x: 1,377 m η = 2,1	x: 0 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 22,4	x: 1,377 m η = 2,2	x: 0 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 24,1	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 24,1
N143/N349	x: 1,377 m η = 1,9	x: 0 m η = 1,2	x: 0 m η = 22,1	x: 1,377 m η = 1,6	x: 0 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 23,7	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 23,7
N349/N138	x: 1,377 m η = 1,9	x: 0 m η = 1,2	x: 1,377 m η = 22,4	x: 1,377 m η = 1,8	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 23,7	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 23,7
N139/N355	x: 1,377 m η = 1,8	x: 0 m η = 1,0	x: 0 m η = 22,1	x: 1,377 m η = 1,6	x: 0 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 23,9	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 23,9
N355/N143	x: 1,377 m η = 1,8	x: 0 m η = 1,1	x: 1,377 m η = 22,2	x: 1,377 m η = 1,6	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 23,7	η < 0,1	x: 0,689 m η < 0,1	x: 1,377 m η = 1,3	x: 0 m η = 0,1	COMPLEIX η = 23,7
N144/N357	x: 1,377 m η = 1,6	x: 0 m η = 0,9	x: 0 m η = 22,1	x: 1,377 m η = 1,8	x: 0 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 24,0	η < 0,1	x: 0,689 m η = 0,1	x: 0 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 24,0
N357/N139	x: 1,377 m η = 1,7	x: 0 m η = 1,0	x: 1,377 m η = 22,2	x: 1,377 m η = 1,6	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 23,8	η < 0,1	x: 0,689 m η = 0,1	x: 1,377 m η = 1,3	x: 0 m η = 0,1	COMPLEIX η = 23,8
N140/N359	x: 1,377 m η = 1,4	x: 0 m η = 0,8	x: 0 m η = 22,2	x: 1,377 m η = 2,0	x: 0 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 24,1	η < 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 24,1
N359/N144	x: 1,377 m η = 1,5	x: 0 m η = 0,8	x: 1,377 m η = 22,2	x: 1,377 m η = 1,8	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 24,0	η < 0,1	x: 0,459 m η < 0,1	x: 1,377 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 24,0
N145/N361	x: 1,377 m η = 1,2	x: 0 m η = 0,6	x: 0 m η = 22,2	x: 1,377 m η = 2,4	x: 0 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 24,1	η < 0,1	x: 0 m η < 0,1	x: 0 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 24,1
N361/N140	x: 1,377 m η = 1,3	x: 0 m η = 0,7	x: 1,377 m η = 22,2	x: 1,377 m η = 2,0	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 24,1	η < 0,1	x: 0,459 m η < 0,1	x: 1,377 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 24,1
N141/N363	x: 1,377 m η = 0,9	x: 0 m η = 0,5	x: 0 m η = 22,1	x: 1,377 m η = 2,7	x: 0 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,3	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 24,1	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 24,1
N363/N145	x: 1,377 m η = 1,0	x: 0 m η = 0,6	x: 1,377 m η = 22,2	x: 1,377 m η = 2,2	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 24,1	η < 0,1	x: 0,459 m η < 0,1	x: 1,377 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 24,1
N146/N365	x: 1,377 m η = 0,6	x: 0 m η = 0,3	x: 0 m η = 23,0	x: 1,377 m η = 3,0	x: 0 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,3	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 25,3	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 25,3
N365/N141	x: 1,377 m η = 0,7	x: 0 m η = 0,4	x: 1,377 m η = 22,2	x: 1,377 m η = 2,5	x: 1,377 m η = 3,2	x: 1,377 m η = 0,2	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 24,0	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 1,3	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 24,0
N369/N146	x: 1,377 m η = 0,4	x: 0 m η = 0,2	x: 1,377 m η = 23,2	x: 0 m η = 4,0	x: 1,377 m η = 3,4	x: 1,377 m η = 0,3	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,377 m η = 25,2	η < 0,1	x: 0,689 m η < 0,1	x: 1,377 m η = 1,4	x: 1,377 m η = 0,1	COMPLEIX η = 25,2
N147/N369	x: 0,918 m η = 0,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,689 m η = 23,8	x: 0 m η = 6,6	x: 1,377 m η = 3,6	x: 0 m η = 0,4	η < 0,1	η < 0,1	x: 0,689 m η = 28,2	η < 0,1	η = 3,6	x: 1,377 m η = 3,6	x: 1,377 m η = 0,4	COMPLEIX η = 28,2
N291/N186	x: 1,377 m η = 1,0	x: 0 m η = 0,8	x: 0,688 m η = 32,9	x: 0,688 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,229 m η < 0,1	x: 0,688 m η = 33,9	x: 0,229 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 33,9
N150/N291	x: 1,378 m η = 1,1	x: 0 m η = 0,8	x: 0,689 m η = 32,9	x: 0,689 m η = 0,4	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,23 m η < 0,1	x: 0,689 m η = 34,0	x: 0,23 m η < 0,1	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 34,0
N253/N18	η = 35,0	η = 32,7	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 35,0
N217/N16	η = 70,2	η = 39,6	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 70,2
N215/N16	η = 74,5	η = 48,9	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 74,5
N253/N15	η = 80,4	η = 49,4	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 80,4
N218/N24	η = 24,1	η = 19,9	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 24,1
N219/N21	η = 59,0	η = 31,6	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 59,0
N221/N27	η = 53,3	η = 28,5	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 53,3
N220/N30	η = 25,6	η = 21,0	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 25,6
N223/N33	η = 46,4	η = 24,9	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 46,4
N222/N36	η = 27,9	η = 22,7	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 27,9
N225/N39	η = 53,9	η = 29,9	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 53,9
N224/N49	η = 44,2	η = 29,0	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 44,2
N371/N49	η = 95,7	η = 69,1	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 95,7
N225/N1	η = 79,9	η = 86,3	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁴⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	V _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽⁵⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁶⁾	N _t P _t ⁽⁸⁾	N _t P _t ⁽⁹⁾	M _{Ed} = 0,00 N _t P _t ⁽¹⁾	N _t P _t ⁽²⁾	N _t P _t ⁽²⁾	COMPLEIX η = 86,3
N373/N287	η = 1,2	η = 0,7	x: 1,375 m η = 17,5	x: 1,375 m η = 8,5	x: 1,375 m η = 2,7	x: 1,375 m η = 0,4	η < 0,1	η < 0,1	x: 1,375 m η = 24,4	η < 0,1	η = 1,0	x: 1,375 m η = 2,7	x: 1,375 m η = 0,4	COMPLEIX η = 24,4
N125/N373	η = 1,2	η = 0,7	x: 0 m η = 17,2	x: 0,917 m η = 8,0	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,4	η < 0,1	η < 0,1	x: 0 m η = 22,2	η < 0,1	η = 1,0	x: 0 m η = 2,6	x: 0 m η = 0,4	COMPLEIX η = 22,2

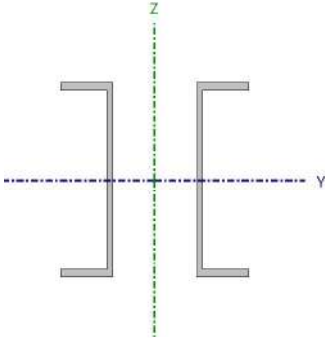
1. RESULTATS

1.1. Barres

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.

PILAR 21

Perfil: UPN 380, Doble en I unió genèrica (Separació entre els perfils: 160.0 / 160.0 mm i Enllaç a distància màxima) Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))						
	Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques		
	Inicial	Final		Àrea (cm²)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _z ⁽¹⁾ (cm4)
	N241	N24	5.434	160.80	31520.00	18555.30
	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	1.20	1.00		1.00
	L _K	5.434	6.500	5.434		5.434
	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:

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

25.78 ≤ 388.69

✓

On:

- h_w: Cantell de l'ànima

t_w: Gruix de l'ànima.

A_w: Àrea de l'ànima.

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

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

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

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

Essent:

h_w: 348.00 mm

t_w: 13.50 mm

A_w: 46.98 cm²

A_{fc}: 16.32 cm²

k: 0.30

E: 210000 MPa

f_{yf}: 275.00 MPa

$$f_{yf} = f_y$$

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

S'ha de satisfer:

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

η :

0.013

✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N24, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V3+1.5·VB.

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

N_{Ed} : 26.42 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} :

2105.71

kN

On:

- A: Àrea de la secció transversal.

f_y: Límit elàstic.

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.
- A : 80.40 cm²

f_y : 275.00 MPa

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 :

0.084

✓

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

η :

0.129

✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N24, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

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

N_{c,Ed} : 177.07 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} :

2105.7

1 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.	Class e : 1
A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.	: cm² A : 80.40
f_y: Límit elàstic.	: MP f_y : 275.00
γ_{MO}: Coeficient parcial de seguretat del material.	: a γ_{MO} : 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:

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

On:

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

f_y: Límit elàstic.

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

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

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

Essent:

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

α_{FT}: Coeficient d'imperfecció.

λ̄: Esveltesa reduïda.

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

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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

$$i_0^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y} \right) \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z} \right) \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T} \right) - \sigma_{cr}^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z} \right) \cdot y_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot \left(\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T} \right) \cdot y_0^2 = 0$$

On:

σ_{cr,y}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y.

σ_{cr,z}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z.

σ_{cr,T}: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta.

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

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_w: Constant de guernessa de la secció.

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

$$N_{b,Rd} : \frac{1374.1}{7} \text{ kN}$$

$$A : \frac{80.40}{275.00} \text{ MPa}$$

$$\chi_{FT} : 0.65$$

$$\phi_{FT} : 0.98$$

$$\alpha_{FT} : 0.49$$

$$\bar{\lambda}_{FT} : 0.82$$

$$N_{cr} : \frac{3326.8}{2} \text{ kN}$$

$$\sigma_{cr} : 413.78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr,y} : \frac{961.60}{413.78} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr,z} : \frac{413.78}{413.78} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr,T} : \frac{\infty}{413.78} \text{ MPa}$$

$$I_y : \frac{31520}{4} \text{ cm}^4$$

$$I_z : \frac{18555}{30} \text{ cm}^4$$

$$I_t : \frac{118.20}{4} \text{ cm}^4$$

$$I_w : \frac{0.00}{6} \text{ cm}^6$$

$$E : \frac{210000}{a} \text{ MPa}$$

G: Mòdul d'elasticitat transversal.	: MP G : 81000
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.	: a λ_y : 46.4
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.	: a λ_z : 70.8
L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió.	: m L_{kt} : 0.000
i_o: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.	: cm i_o : 17.65

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

Essent:

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

$$i_y : \frac{14.00}{cm}$$

$$i_z : \frac{10.74}{cm}$$

y_o , z_o: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.

$$y_o : \frac{0.00}{m}$$

$$z_o : \frac{0.00}{m}$$

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : 0.247 \checkmark$$

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

$$\eta : 0.748 \checkmark$$

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N241, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T1+1.5·V4+1.5·VA.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

$$M_{Ed}^+ : 60.97 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N241, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+0.9·T2+1.5·V2+1.5·VB+0.75·N1.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

$$M_{Ed}^- : 65.33 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : 264.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} : 1010.00 \text{ cm}^3$$

f_y: Límit elàstic.

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

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

$$\gamma_{MO} : 1.05$$

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

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

On:

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

f_y: Límit elàstic.

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

χ_{LT}: Factor de reducció per vinclament lateral.

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

Essent:

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

α_{LT}: Coeficient d'imperfecció elàstica.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

M_{cr}: Moment crític elàstic de vinclament lateral.

El moment crític elàstic de vinclament lateral 'M_{cr}' es determina de la següent forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2 \right]^{0.5} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right\}$$

Essent:

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_w: Constant de guerxament.

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

G: Mòdul d'elasticitat transversal.

L_c⁺: Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala superior.

L_c⁻: Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala inferior.

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

C₂: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

C₃: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

k_z: Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al gir de la secció transversal en els extrems de la barra.

k_w: Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al balcament en els extrems de la barra.

z_g: Distància entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre d'esforços tallants, respecte a l'eix Z.

$$z_g = z_a - z_s$$

Essent:

z_a: Distància en la direcció de l'eix Z entre el punt d'aplicació de

M_{b,Rd} : 87.33 kN·m

W_{pl,y} : 1010.00 cm³

f_y : 275.00 MPa

γ_{M1} : 1.05

χ_{LT} : 0.33

φ_{LT} : 1.80

α_{LT} : 0.76

λ̄_{LT} : 1.32

M_{cr} : 158.40 kN·m

I_z : 615.00 cm4

I_t : 59.10 cm4

I_w : 146000.00 cm6

E : 210000 MPa

G : 81000 MPa

L_c⁺ : 5.434 m

L_c⁻ : 5.434 m

C₁ : 1.00

C₂ : 1.00

C₃ : 1.00

k_z : 0.84

k_w : 0.84

z_g : 0.00 mm

z_a : 0.00 mm

la càrrega i el centre geomètric.

z_s: Distància en la direcció de l'eix Z entre el centre d'esforços tallants i el centre geomètric.

z_s : 0.00 mm

z_j: Paràmetre d'asimetria de la secció, respecte a l'eix Y.

z_j : 0.00 mm

$$z_j = z_s - 0.5 \cdot \int_A (y^2 + z^2) \cdot (z/I_y) \cdot dA$$

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 : 0.012 ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N24, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁺ : 0.48 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N24, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+1.5·T2+0.9·V4+0.9·VA.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁻ : 0.25 kN·m

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

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

M_{c,Rd} : 38.76 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} : 148.00 cm³

f_y: Límit elàstic.

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

η : 0.014 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N241, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 10.75 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} : 793.55 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 52.48 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció transversal.

A : 80.40 cm²

b: Ample total de la secció.

b : 102.00 mm

t_f: Espessor de l'ala.

t_f : 16.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 13.50 mm

r: Radi d'acord entre ala i ànima.

r : 16.00 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:

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

25.78 < 55.46 ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima.

λ_w : 25.78

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

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

λ_{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 : 0.005 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N241, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 2.74 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} : 505.35 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 33.42 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció bruta.

A : 80.40 cm²

d: Alçada de l'ànima.

d : 348.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 13.50 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}**.

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

10.75 kN ≤ 396.78 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·Q5+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 10.75 kN

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

V_{c,Rd} : 793.55 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}**.

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

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·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

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

$$V_{Ed} : \quad 2.74 \quad \text{kN}$$

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

$$V_{c,Rd} : \quad 505.35 \quad \text{kN}$$

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \quad 0.315 \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \quad 0.849 \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \quad 0.525 \quad \checkmark$$

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N241, per a la combinació d'accions
 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V2+1.5·VB+0.75·N1.

On:

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

$$N_{c,Ed} : \quad 140.49 \quad \text{kN}$$

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

$$M_{y,Ed} : \quad 63.50 \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \quad 0.32 \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

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.

$$Classe : \quad 1$$

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

$$N_{pl,Rd} : \quad 2105.71 \quad \text{kN}$$

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.

$$M_{pl,Rd,y} : \quad 264.52 \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \quad 38.76 \quad \text{kN} \cdot \text{m}$$

Resistència a vinyament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta.

$$A : \quad 80.40 \quad \text{cm}^2$$

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

$$W_{pl,y} : \quad 1010.00 \quad \text{cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \quad 148.00 \quad \text{cm}^3$$

f_y: Límit elàstic.

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

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

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

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

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

$$K_{yy} : \quad 1.03$$

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

$$K_{yz} : \quad 1.96$$

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

$$K_{zy} : \quad 0.57$$

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

$$K_{zz} : \quad 1.13$$

Termes auxiliars:

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

$$\mu_y : \quad 1.00$$

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

$$\mu_z : \quad 0.98$$

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

$$C_{yy} : \quad 1.00$$

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

$$C_{yz} : \quad 0.35$$

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

$$C_{zy} : \quad 0.97$$

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

$$C_{zz} : \quad 0.91$$

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

$$a_{LT} : \quad 1.00$$

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

$$b_{LT} : \quad 0.01$$

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

$$c_{LT} : \quad 2.33$$

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

$$d_{LT} : \quad 0.03$$

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

$$e_{LT} : \quad 3.01$$

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

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

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

Ja que:

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

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

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

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

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

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

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

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

λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z.

λ̄_y, λ̄_z: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

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

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

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

$$w_y : \underline{1.22}$$

$$w_z : \underline{1.50}$$

$$n_{pl} : \underline{0.07}$$

$$1.32 > 0.20$$

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,LT} : \underline{1.02}$$

$$\varepsilon_y : \underline{3.60}$$

$$C_{m,y,0} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z,0} : \underline{1.00}$$

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$$\chi_y : \underline{0.82}$$

$$\chi_z : \underline{0.65}$$

$$\chi_{LT} : \underline{0.33}$$

$$\bar{\lambda}_{m\grave{a}x} : \underline{0.82}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.53}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.82}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{1.32}$$

$$\bar{\lambda}_0 : \underline{1.32}$$

$$W_{el,y} : \underline{829.47} \text{ cm}^3$$

$$W_{el,z} : \underline{78.64} \text{ cm}^3$$

$$N_{cr} : \underline{3326.82} \text{ kN}$$

$$I_y : \underline{31520.00} \text{ cm}^4$$

$$I_t : \underline{118.20} \text{ cm}^4$$

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·Q5+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

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

$$10.75 \text{ kN} \leq 396.69 \text{ kN} \checkmark$$

On:

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

$$V_{Ed,z} : \underline{10.75} \text{ kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \underline{793.37} \text{ kN}$$

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \underline{0.001} \checkmark$$

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+0.9·T1+1.5·VA.

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

$$T_{Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$T_{Rd} : \underline{5.59} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

$$W_T : \underline{36.94} \text{ cm}^3$$

f_y: Límit elàstic.

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

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

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

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \underline{0.014} \checkmark$$

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N241, per a la combinació d'accions
 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

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

$$V_{Ed} : \underline{10.75} \text{ kN}$$

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals.
L'esforç tallant resistent de càlcul reduït **V_{pl,T,Rd}** ve donat per:

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

On:

V_{pl,Rd}: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.
τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

T_{Ed} : 0.00 kN·m

V_{pl,T,Rd} : 793.37 kN

V_{pl,Rd} : 793.55 kN
τ_{t,Ed} : 0.09 MPa

W_T : 36.94 cm³
f_y : 275.00 MPa
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 : 0.005 ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N241, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 2.74 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals.
L'esforç tallant resistent de càlcul reduït **V_{pl,T,Rd}** ve donat per:

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

On:

V_{pl,Rd}: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.
τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

V_{pl,Rd} : 505.35 kN
τ_{t,Ed} : 0.01 MPa

W_T : 36.94 cm³
f_y : 275.00 MPa
γ_{M0} : 1.05

PILAR P20

Perfil: UPN 380, Doble en I unió genèrica (Separació entre els perfils: 160.0 / 160.0 mm i Enllaç a distància màxima)
Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))

Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques					
Inicial	Final		Àrea (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _z ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)		
N242	N27	5.105	160.80	31520.00	18555.30	118.20		
<i>Notes:</i> ⁽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	1.21	1.00		1.00			
L _k	5.105	6.170	5.105		5.105			
C _m	1.000	1.000	1.000		1.000			
C ₁	-		1.000					
<i>Notació:</i> 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:

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

25.78 ≤ 388.69 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima
t_w: Gruix de l'ànima.
A_w: Àrea de l'ànima.
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida.
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció.
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida.
Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w : 348.00 mm
t_w : 13.50 mm
A_w : 46.98 cm²
A_{fc} : 16.32 cm²
k : 0.30
E : 210000 MPa
f_{yf} : 275.00 MPa

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

S'ha de satisfer:

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

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N27, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+1.5·T2+0.9·V4+0.9·VA.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. **N_{Ed}** : 33.59 kN

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

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

On:
A: Àrea de la secció transversal. **A** : 80.40 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 : 0.100 ✓

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

η : 0.149 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N27, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

N_{c,Ed}: Valor de càlcul de la força de compressió. **N_{c,Ed}** : 209.54 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} : 2105.71 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. **Class** : e 1

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : 80.40 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} : 1406.98 kN

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3. **A** : 80.40 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.

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

χ_{FT} : 0.67

Essent:

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

φ_{FT} : 0.96

α_{FT}: Coeficient d'imperfecció.

λ̄: Esveltesa reduïda.

α_{FT} : 0.49

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

λ̄_{FT} : 0.79

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

La tensió crítica elàstica de vinclament σ_{cr} és el valor de la menor de les arrels de la següent equació cúbica: **N_{cr}** : 3538.95 kN

$$i_0^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot \gamma_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) = 0$$

σ_{cr} : 440.17 MPa

On:

σ_{cr,y}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y. **σ_{cr,y}** : 1067.21 MPa

σ_{cr,z}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z. **σ_{cr,z}** : 440.17 MPa

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

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. **I_y** : 31520.00 cm⁴

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z. **I_z** : 18555.30 cm⁴

I_t: Mòdul de torsió uniforme **I_t** : 118.20 cm⁴

I_w: Constant de guexesa 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** : 44.1

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** : 68.6

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

i₀: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió. **i₀** : 17.65 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	<u>14.00</u> cm
	:	
	i_z	<u>10.74</u> cm
	:	m
y_o , z_o: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.	y_o	<u>0.00</u> m
	:	m
	z_o	<u>0.00</u> m

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \quad \underline{0.259} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \quad \underline{0.747} \quad \checkmark$$

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N242, per a la combinació d'accions 1.35•PP+0.8•CM1+1.05•Q2+1.05•Q4+0.9•T1+1.5•V4+1.5•VA.

M_{Ed}^+ : Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}^+ : 65.20 kN•m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N242, per a la combinació d'accions 0.8•PP+1.35•CM1+1.05•Q3+1.05•Q5+0.9•T2+1.5•V2+1.5•VB+0.75•N1.

M_{Ed}^- : Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}^- : 68.62 kN•m

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

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

$M_{c,Rd}$: 264.52 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.

$W_{pl,y}$: 1010.00 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)

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$M_{b,Rd}$: 91.82 kN•m

On:

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

$W_{pl,y}$: 1010.00 cm³

f_y : Límit elàstic.

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M1} : 1.05

χ_{LT} : Factor de reducció per vinclament lateral.

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

χ_{LT} : 0.35

Essent:

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

ϕ_{LT} : 1.72

α_{LT} : Coeficient d'imperfecció elàstica.

α_{LT} : 0.76

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}$: 1.28

M_{cr} : Moment crític elàstic de vinclament lateral.

El moment crític elàstic de vinclament lateral ' M_{cr} ' es determina de la següent forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right)^2 \right]^{0.5} - \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right) \right\}$$

Essent:

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

I_z : 615.00 cm4

I_t : Mòdul de torsió uniforme

I_t : 59.10 cm4

I_w : Constant de guerxament.

I_w : 146000.00 cm6

E : Mòdul d'elasticitat longitudinal.

E : 210000 MPa

G : Mòdul d'elasticitat transversal.

G : 81000 MPa

L_c^+ : Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala superior.

L_c^+ : 5.105 m

L_c^- : Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala inferior.

L_c^- : 5.105 m

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

C_1 : 1.00

C_2 : Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

C_2 : 1.00

C_3 : Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

C_3 : 1.00

k_z : Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al gir de la secció transversal en els extrems de la barra.

k_z : 0.83

k_w : Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al balcament en els extrems de la barra.

k_w : 0.83

z_g : Distància entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre d'esforços tallants, respecte a l'eix Z.

z_g : 0.00 mm

z_g = $z_a - z_s$

Essent:

z_a : Distància en la direcció de l'eix Z entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre geomètric.

z_a : 0.00 mm

z_s : Distància en la direcció de l'eix Z entre el centre d'esforços tallants i el centre geomètric.

z_s : 0.00 mm

z_j : Paràmetre d'asimetria de la secció, respecte a l'eix Y.

z_j : 0.00 mm

z_j = $z_s - 0.5 \cdot \int_A \left(y^2 + z^2 \right) \cdot \left(z / I_y \right) \cdot dA$

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 : 0.012 ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N27, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁺ : 0.47 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N27, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+1.5·T2+0.9·V4+0.9·VA.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁻ : 0.25 kN·m

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

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

M_{c,Rd} : 38.76 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} : 148.00 cm³

f_y: Límit elàstic.

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

η : 0.015 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N242, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VB.

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

V_{Ed} : 11.74 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} : 793.55 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 52.48 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció transversal.

A : 80.40 cm²

b: Ample total de la secció.

b : 102.00 mm

t_f: Espessor de l'ala.

t_f : 16.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 13.50 mm

r: Radi d'acord entre ala i ànima.

r : 16.00 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:

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

25.78 < **55.46** ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima.

λ_w : 25.78

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

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

λ_{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 : 0.005 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N242, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 2.72 kN

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

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

$V_{c,Rd}$: 505.35 kN

On:

A_v : Àrea transversal a tallant.

A_v : 33.42 cm²

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

Essent:

A : Àrea de la secció bruta.

A : 80.40 cm²

d : Alçada de l'ànima.

d : 348.00 mm

t_w : Gruix de l'ànima.

t_w : 13.50 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 $V_{c,Rd}$.

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

11.74 kN ≤ 396.78 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·Q5+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VB.

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

V_{Ed} : 11.74 kN

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

$V_{c,Rd}$: 793.55 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 $V_{c,Rd}$.

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

2.72 kN ≤ 252.67 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·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 2.72 kN

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

$V_{c,Rd}$: 505.35 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 : 0.335 ✓

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

η : 0.847 ✓

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

η : 0.534 ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N242, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V2+1.5·VB+0.75·N1.

On:

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

$N_{c,Ed}$: 168.72 kN

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

$M_{y,Ed}$: 65.14 kN·m

$M_{z,Ed}^+$: 0.32 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.

$N_{pl,Rd}$: 2105.71 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.

$M_{pl,Rd,y}$: 264.52 kN·m

$M_{pl,Rd,z}$: 38.76 kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A : Àrea de la secció bruta.

A : 80.40 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.

$W_{pl,y}$: 1010.00 cm³

$W_{pl,z}$: 148.00 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} : 1.04

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

K_{yz} : 1.97

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

K_{zy} : 0.57

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

Termes auxiliars:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ja que:

$$K_{zz} : \quad 1.15$$

$$\mu_y : \quad 1.00$$

$$\mu_z : \quad 0.98$$

$$C_{yy} : \quad 1.00$$

$$C_{yz} : \quad 0.35$$

$$C_{zy} : \quad 0.97$$

$$C_{zz} : \quad 0.89$$

$$a_{LT} : \quad 1.00$$

$$b_{LT} : \quad 0.00$$

$$c_{LT} : \quad 2.14$$

$$d_{LT} : \quad 0.03$$

$$e_{LT} : \quad 3.13$$

$$w_y : \quad 1.22$$

$$w_z : \quad 1.50$$

$$\eta_{pl} : \quad 0.08$$

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

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0} \right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

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

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right)}}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

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

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

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

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

λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z.

λ̄_y, **λ̄_z**: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

λ̄₀: Esveltesa adimensional de vindament lateral quan actua un moment uniforme.

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

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

$$1.28 > 0.20$$

$$C_{m,y} : \quad 1.00$$

$$C_{m,z} : \quad 1.00$$

$$C_{m,LT} : \quad 1.02$$

$$\varepsilon_y : \quad 3.07$$

$$C_{m,y,0} : \quad 1.00$$

$$C_{m,z,0} : \quad 1.00$$

$$C_1 : \quad 1.00$$

$$\chi_y : \quad 0.84$$

$$\chi_z : \quad 0.67$$

$$\chi_{LT} : \quad 0.35$$

$$\bar{\lambda}_{\max} : \quad 0.79$$

$$\bar{\lambda}_y : \quad 0.51$$

$$\bar{\lambda}_z : \quad 0.79$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \quad 1.28$$

$$\bar{\lambda}_0 : \quad 1.28$$

$$W_{el,y} : \quad 829.47 \quad \text{cm}^3$$

$$W_{el,z} : \quad 78.64 \quad \text{cm}^3$$

$$N_{cr} : \quad 3538.95 \quad \text{kN}$$

$$I_y : \quad 31520.00 \quad \text{cm}^4$$

$$I_t : \quad 118.20 \quad \text{cm}^4$$

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·Q5+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VB.

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

$$11.74 \text{ kN} \leq 396.78 \text{ kN} \quad \checkmark$$

On:

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

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

$$V_{Ed,z} : \quad 11.74 \quad \text{kN}$$

$$V_{c,Rd,z} : \quad 793.55 \quad \text{kN}$$

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

S'ha de satisfer:

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

$\eta < \underline{0.001}$ ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·T1.

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:

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

$T_{Rd} :$ 5.59 kN·m

On:

W_T : Mòdul de resistència a torsió.
 f_y : Límit elàstic.
 γ_{M0} : Coeficient parcial de seguretat del material.

$W_T :$ 36.94 cm³
 $f_y :$ 275.00 MPa
 $\gamma_{M0} :$ 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

$\eta : \underline{0.014}$ ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N242, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VB.

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

$V_{Ed} :$ 11.03 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:

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

$V_{pl,T,Rd} :$ 793.51 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.
 $\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió.

$V_{pl,Rd} :$ 793.55 kN
 $\tau_{t,Ed} :$ 0.02 MPa

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

Essent:

W_T : Mòdul de resistència a torsió.
 f_y : Límit elàstic.
 γ_{M0} : Coeficient parcial de seguretat del material.

$W_T :$ 36.94 cm³
 $f_y :$ 275.00 MPa
 $\gamma_{M0} :$ 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

$\eta : \underline{0.005}$ ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N242, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

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

$V_{Ed} :$ 2.72 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:

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

$V_{pl,T,Rd} :$ 505.30 kN

On:

$V_{pl,Rd}$: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.
 $\tau_{t,Ed}$: Tensions tangencials per torsió.

$V_{pl,Rd} :$ 505.35 kN
 $\tau_{t,Ed} :$ 0.03 MPa

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

Essent:

W_T : Mòdul de resistència a torsió.
 f_y : Límit elàstic.
 γ_{M0} : Coeficient parcial de seguretat del material.

$W_T :$ 36.94 cm³
 $f_y :$ 275.00 MPa
 $\gamma_{M0} :$ 1.05

PILAR P22

Perfil: UPN 380, Doble en I unió genèrica (Separació entre els perfils: 160.0 / 160.0 mm i Enllaç a distància màxima) 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)			
N240	N21	5.763	160.80	31520.00	18555.30	118.20			
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	1.19	1.00	1.00					
L _K	5.763	6.830	5.763	5.763					
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:

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

25.78 ≤ 388.69

✓

On:

h_w : Cantell de l'ànima	h_w :	348.00	mm
t_w : Gruix de l'ànima.	t_w :	13.50	mm
A_w : Àrea de l'ànima.	A_w :	46.98	cm²
A_{fc} : Àrea eficaç de l'ala comprimida.	A_{fc} :	16.32	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 :

0.019

✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N21, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+1.5·T2+0.9·V4+0.9·VA.

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

N_{Ed} :

39.33

kN

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

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

On:

A: Àrea de la secció transversal.

f_y: Límit elàstic.

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

N_{t,Rd} :

2105.71

kN

A :

80.40

cm²

f_y :

275.00

MPa

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 :

0.105

✓

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

η :

0.165

✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N21, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

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

N_{c,Ed} :

221.37

kN

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

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

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.

N_{c,Rd} :

2105.71

kN

Class :

e

1

A :

80.40

cm²

f_y :

275.00

MPa

γ_{M0} :

1.05

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

f_y: Límit elàstic.

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

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:

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

On:

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

f_y: Límit elàstic.

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

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

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

Essent:

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

α_{FT}: Coeficient d'imperfecció.

λ̄: Esveltesa reduïda.

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

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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

$$i_0^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot Y_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) = 0$$

On:

σ_{cr,y}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y.

σ_{cr,z}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z.

σ_{cr,T}: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta.

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

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_w: Constant de guerxesa de la secció.

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

G: Mòdul d'elasticitat transversal.

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

L_{kt}: Longitud eficaç de vindament per torsió.

i_o: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.

$$i_o = \left(i_y^2 + i_z^2 + Y_0^2 + Z_0^2 \right)^{0.5}$$

Essent:

$$N_{b,Rd} = \frac{1340.4}{6} \text{ kN}$$

$$A = \frac{80.40}{1} \text{ cm}^2$$

$$f_y = \frac{275.00}{1} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

$$\chi_{FT} = 0.64$$

$$\phi_{FT} = 1.01$$

$$\alpha_{FT} = 0.49$$

$$\bar{\lambda}_{FT} = 0.84$$

$$N_{cr} = \frac{3127.6}{5} \text{ kN}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{389.01}{1} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr,y} = \frac{870.92}{1} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr,z} = \frac{389.01}{1} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr,T} = \infty$$

$$I_y = \frac{31520}{4} \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{18555}{4} \text{ cm}^4$$

$$I_t = \frac{118.20}{4} \text{ cm}^4$$

$$I_w = \frac{0.00}{6} \text{ cm}^6$$

$$E = \frac{210000}{1} \text{ MPa}$$

$$G = \frac{81000}{1} \text{ MPa}$$

$$\lambda_y = \frac{48.8}{1}$$

$$\lambda_z = \frac{73.0}{1}$$

$$L_{kt} = \frac{0.000}{1} \text{ m}$$

$$i_o = \frac{17.65}{1} \text{ cm}$$

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

$$i_y = \frac{14.00}{1} \text{ cm}$$

$$i_z = \frac{10.74}{1} \text{ cm}$$

y_o , z_o: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.

$$y_o = \frac{0.00}{1} \text{ m}$$

$$z_o = \frac{0.00}{1} \text{ m}$$

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta = 0.220$$

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

$$\eta = 0.697$$

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N240, per a la combinació d'accions 0.8•PP+0.8•CM1+1.05•Q2+1.05•Q4+0.9•T1+1.5•V4+1.5•VA.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

$$M_{Ed}^+ = 53.19 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N240, per a la combinació d'accions 1.35•PP+1.35•CM1+1.05•Q3+1.05•Q5+0.9•T2+1.5•V2+1.5•VB+0.75•N1.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

$$M_{Ed}^- = 58.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} = 264.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$\text{Classe} = 1$$

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

$$W_{pl,y} = 1010.00 \text{ cm}^3$$

f_y: Límit elàstic.

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

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

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

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

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = 83.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

On:

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

$$W_{pl,y} = 1010.00 \text{ cm}^3$$

f_y: Límit elàstic.

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

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

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

χ_{LT} : Factor de reducció per vinclament lateral.

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

Essent:

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

α_{LT} : Coeficient d'imperfecció elàstica.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

M_{cr} : Moment crític elàstic de vinclament lateral.

El moment crític elàstic de vinclament lateral ' M_{cr} ' es determina de la següent forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right)^2 \right]^{0.5} - \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right) \right\}$$

Essent:

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

I_t : Mòdul de torsió uniforme

I_w : Constant de guernament.

E : Mòdul d'elasticitat longitudinal.

G : Mòdul d'elasticitat transversal.

L_c^+ : Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala superior.

L_c^- : Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala inferior.

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

C_2 : Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

C_3 : Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

k_z : Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al gir de la secció transversal en els extrems de la barra.

k_w : Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al balcament en els extrems de la barra.

z_g : Distància entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre d'esforços tallants, respecte a l'eix Z.

$$z_g = z_a - z_s$$

Essent:

z_a : Distància en la direcció de l'eix Z entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre geomètric.

z_s : Distància en la direcció de l'eix Z entre el centre d'esforços tallants i el centre geomètric.

z_j : Paràmetre d'asimetria de la secció, respecte a l'eix Y.

$$z_j = z_s - 0.5 \cdot \int_A \left(y^2 + z^2 \right) \cdot \left(z / I_y \right) \cdot dA$$

$$\chi_{LT} : \quad 0.31$$

$$\phi_{LT} : \quad 1.88$$

$$\alpha_{LT} : \quad 0.76$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \quad 1.37$$

$$M_{cr} : \quad 147.90 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$I_z : \quad 615.00 \text{ cm}^4$$

$$I_t : \quad 59.10 \text{ cm}^4$$

$$I_w : \quad 146000.00 \text{ cm}^6$$

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

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

$$L_c^+ : \quad 5.763 \text{ m}$$

$$L_c^- : \quad 5.763 \text{ m}$$

$$C_1 : \quad 1.00$$

$$C_2 : \quad 1.00$$

$$C_3 : \quad 1.00$$

$$k_z : \quad 0.84$$

$$k_w : \quad 0.84$$

$$z_g : \quad 0.00 \text{ mm}$$

$$z_a : \quad 0.00 \text{ mm}$$

$$z_s : \quad 0.00 \text{ mm}$$

$$z_j : \quad 0.00 \text{ mm}$$

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \quad 0.013 \checkmark$$

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N21, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}^+ : Valor de càlcul del moment flector.

$$M_{Ed}^+ : \quad 0.51 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N21, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+1.5·T2+0.9·V4+0.9·VA.

M_{Ed}^- : Valor de càlcul del moment flector.

$$M_{Ed}^- : \quad 0.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \quad 38.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$Classe : \quad 1$$

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

$$W_{pl,z} : \quad 148.00 \text{ cm}^3$$

f_y : Límit elàstic.

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

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

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

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \quad 0.012 \checkmark$$

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N240, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

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

$$V_{Ed} : \quad 9.54 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \quad 793.55 \text{ kN}$$

On:

A_v : Àrea transversal a tallant.

$$A_v : \quad 52.48 \text{ cm}^2$$

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

Essent:

- A:** Àrea de la secció transversal.
- b:** Ample total de la secció.
- t_f:** Espessor de l'ala.
- t_w:** Gruix de l'ànima.
- r:** Radi d'acord entre ala i ànima.

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

- A :** 80.40 cm²
- b :** 102.00 mm
- t_f :** 16.00 mm
- t_w :** 13.50 mm
- r :** 16.00 mm

- f_y :** 275.00 MPa
- 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:

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

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima.

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

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

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

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

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

Essent:

- f_{ref}:** Límit elàstic de referència.
- f_y:** Límit elàstic.

- λ_w :** 25.78

- λ_{màx} :** 55.46

- η :** 1.20
- ε :** 0.92

- f_{ref} :** 235.00 MPa
- f_y :** 275.00 MPa

25.78 < 55.46 ✓

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

S'ha de satisfer:

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

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N21, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VC+0.75·N1.

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

- V_{Ed} :** 2.78 kN

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

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

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

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

Essent:

- A:** Àrea de la secció bruta.
- d:** Alçada de l'ànima.
- t_w:** Gruix de l'ànima.

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

- V_{c,Rd} :** 505.35 kN

- A_v :** 33.42 cm²

- A :** 80.40 cm²
- d :** 348.00 mm
- t_w :** 13.50 mm

- f_y :** 275.00 MPa
- 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}**.

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

9.54 kN ≤ 396.78 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produeixen per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

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

- V_{Ed} :** 9.54 kN

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

- V_{c,Rd} :** 793.55 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}**.

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

2.78 kN ≤ 252.67 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produeixen per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

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

- V_{Ed} :** 2.78 kN

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

V_{c,Rd} : 505.35 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 : 0.310 ✓

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

η : 0.846 ✓

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

η : 0.540 ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N240, per a la combinació d'accions
 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V2+1.5·VB+0.75·N1.

On:

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

N_{c,Ed} : 174.68 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} : 57.70 kN·m

M_{z,Ed} : 0.33 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} : 2105.71 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} : 264.52 kN·m

M_{pl,Rd,z} : 38.76 kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta.

A : 80.40 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} : 1010.00 cm³

W_{pl,z} : 148.00 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} : 1.05

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

K_{yz} : 1.98

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

K_{zy} : 0.58

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

K_{zz} : 1.15

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} : 1.00

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

C_{yz} : 0.35

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

C_{zy} : 0.96

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

C_{zz} : 0.90

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

a_{LT} : 1.00

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

b_{LT} : 0.01

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

c_{LT} : 2.36

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

d_{LT} : 0.03

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

e_{LT} : 2.68

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

w_y : 1.22

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

w_z : 1.50

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

n_{pl} : 0.08

Ja que:

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

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\epsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\epsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

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

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$

$$\epsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

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

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

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

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

λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z.

λ̄_y, λ̄_z: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

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

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

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

1.37 > 0.20

C_{m,y} : 1.00

C_{m,z} : 1.00

C_{m,LT} : 1.03

ε_y : 2.63

C_{m,y,0} : 1.00

C_{m,z,0} : 1.00

C₁ : 1.00

χ_y : 0.81

χ_z : 0.64

χ_{LT} : 0.31

λ̄_{màx} : 0.84

λ̄_y : 0.56

λ̄_z : 0.84

λ̄_{LT} : 1.37

λ̄₀ : 1.37

W_{el,y} : 829.47 cm³

W_{el,z} : 78.64 cm³

N_{cr} : 3127.65 kN

I_y : 31520.00 cm4

I_t : 118.20 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·Q5+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

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

On:

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

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

9.54 kN ≤ 396.65 kN

V_{Ed,z} : 9.54 kN

V_{c,Rd,z} : 793.30 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 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T1+1.5·VA.

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:

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

T_{Rd} : 5.59 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

f_y: Límit elàstic.

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

W_T : 36.94 cm³

f_y : 275.00 MPa

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 : 0.012

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N240, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 9.54 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} : 793.30 kN

On:

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

V_{pl,Rd} : 793.55 kN

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

τ_{t,Ed} : 0.12 MPa

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

Essent:

- $\mathbf{W_T}$: Mòdul de resistència a torsió.
- $\mathbf{f_y}$: Límit elàstic.
- γ_{M0} : Coeficient parcial de seguretat del material.

- $\mathbf{W_T}$: 36.94 cm³
- $\mathbf{f_y}$: 275.00 MPa
- γ_{M0} : 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

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

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N21, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VC+0.75·N1.

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

$$\mathbf{V_{Ed}} : \underline{2.78} \text{ kN}$$

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

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

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

$$\mathbf{V_{pl,T,Rd}} : \underline{505.33} \text{ kN}$$

On:

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

$$\mathbf{V_{pl,Rd}} : \underline{505.35} \text{ kN}$$

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

$$\tau_{t,Ed} : \underline{0.01} \text{ MPa}$$

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

Essent:

- $\mathbf{W_T}$: Mòdul de resistència a torsió.
- $\mathbf{f_y}$: Límit elàstic.
- γ_{M0} : Coeficient parcial de seguretat del material.

- $\mathbf{W_T}$: 36.94 cm³
- $\mathbf{f_y}$: 275.00 MPa
- γ_{M0} : 1.05

PILAR P23

Perfil: UPN 380, Doble en I unió genèrica (Separació entre els perfils: 160.0 / 160.0 mm i Enllaç a distància màxima)
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)
N239	N18	6.091	160.80	31520.00	18555.30	118.20
Notes: ⁽¹⁾ Inèrcia respecte l'eix indicat ⁽²⁾ Moment d'inèrcia a torsió uniforme						
	Vincament		Vincament lateral			
	Pla XY	Pla XZ	Ala sup.		Ala inf.	
β	1.00	1.18	1.00		1.00	
L _k	6.091	7.160	6.091		6.091	
C _m	1.000	1.000	1.000		1.000	
C ₁	-		1.000			
Notació: β: Coeficient de vincament L _k : Longitud de vincament (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:

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

$$25.78 \leq 388.69 \checkmark$$

On:

- $\mathbf{h_w}$: Cantell de l'ànima
 - $\mathbf{t_w}$: Gruix de l'ànima.
 - $\mathbf{A_w}$: Àrea de l'ànima.
 - $\mathbf{A_{fc}}$: Àrea eficaç de l'ala comprimida.
 - $\mathbf{k}$: Coeficient que depèn de la classe de la secció.
 - $\mathbf{E}$: Mòdul d'elasticitat longitudinal.
 - $\mathbf{f_{yf}}$: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida.
- Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

- $\mathbf{h_w}$: 348.00 mm
- $\mathbf{t_w}$: 13.50 mm
- $\mathbf{A_w}$: 46.98 cm²
- $\mathbf{A_{fc}}$: 16.32 cm²
- $\mathbf{k}$: 0.30
- $\mathbf{E}$: 210000 MPa
- $\mathbf{f_{yf}}$: 275.00 MPa

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

S'ha de satisfer:

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

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N18, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+1.5·T2+0.9·V4+0.9·VA.

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

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

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

On:

- A**: Àrea de la secció transversal.
- f_y**: Límit elàstic.
- γ_{M0}**: Coeficient parcial de seguretat del material.

η : 0.016 ✓

N_{Ed} : 34.26 kN

N_{t,Rd} : 2105.71 kN

A : 80.40 cm²

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

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

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N18, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

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

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

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

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.
- A**: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
- f_y**: Límit elàstic.
- γ_{M0}**: Coeficient parcial de seguretat del material.

Classe : 1

A : 80.40 cm²

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : 1.05

N_{b,Rd} : 1306.00 kN

A : 80.40 cm²

f_y: Límit elàstic.

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

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

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

Essent:

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

α_{FT}: Coeficient d'imperfecció.

λ̄: Esveltesa reduïda.

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

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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

$$I_0^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot y_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot z_0^2 = 0$$

On:

σ_{cr,y}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y.

σ_{cr,z}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z.

σ_{cr,T}: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta.

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

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_w: Constant de guerdexa de la secció.

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

G: Mòdul d'elasticitat transversal.

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

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

i_o: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.

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

Essent:

i_y , i_z: Rèdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z.

y_o , z_o: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.

f_y : 275.00 MPa

γ_{M1} : 1.05

χ_{FT} : 0.62

φ_{FT} : 1.04

α_{FT} : 0.49

λ̄_{FT} : 0.87

N_{cr} : 2941.22 kN

σ_{cr} : 365.82 MPa

σ_{cr,y} : 792.49 MPa

σ_{cr,z} : 365.82 MPa

σ_{cr,T} : ∞

I_y : 31520.00 cm²

I_z : 18555.30 cm²

I_t : 118.20 cm⁴

I_w : 0.00 cm⁶

E : 210000 MPa

G : 81000 MPa

λ_y : 51.1

λ_z : 75.3

L_{kt} : 0.000 m

i_o : 17.65 cm

i_y : 14.00 cm

i_z : 10.74 cm

y_o : 0.00 m

z_o : 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 : 0.196 ✓

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

η : 0.652 ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N239, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V4+1.5·VA.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N239, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V2+1.5·VB+0.75·N1.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

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

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

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.

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

f_y: Límit elàstic.

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

M_{Ed}⁺ : 46.96 kN·m

M_{Ed}⁻ : 51.94 kN·m

M_{c,Rd} : 264.52 kN·m

Classe : 1

W_{pl,y} : 1010.00 cm³

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : 1.05

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

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

On:

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

f_y: Límit elàstic.

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

M_{b,Rd} : 79.61 kN·m

W_{pl,y} : 1010.00 cm³

f_y : 275.00 MPa

γ_{M1} : 1.05

χ_{LT}: Factor de reducció per vinclament lateral.

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

Essent:

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

α_{LT}: Coeficient d'imperfeció elàstica.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

M_{cr}: Moment crític elàstic de vinclament lateral.

El moment crític elàstic de vinclament lateral 'M_{cr}' es determina de la següent forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right)^2 \right]^{0.5} - \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right) \right\}$$

Essent:

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_w: Constant de guerxament.

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

G: Mòdul d'elasticitat transversal.

L_c⁺: Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala superior.

L_c⁻: Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala inferior.

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

C₂: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

C₃: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

k_z: Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al gir de la secció transversal en els extrems de la barra.

k_w: Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al balcament en els extrems de la barra.

z_g: Distància entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre d'esforços tallants, respecte a l'eix Z.

$$z_g = z_a - z_s$$

Essent:

z_a: Distància en la direcció de l'eix Z entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre geomètric.

z_s: Distància en la direcció de l'eix Z entre el centre d'esforços tallants i el centre geomètric.

z_j: Paràmetre d'asimetria de la secció, respecte a l'eix Y.

$$z_j = z_s - 0.5 \cdot \int_A \left(y^2 + z^2 \right) \cdot \left(z / I_y \right) \cdot dA$$

I_z : 615.00 cm4

I_t : 59.10 cm4

I_w : 146000.00 cm6

E : 210000 MPa

G : 81000 MPa

L_c⁺ : 6.091 m

L_c⁻ : 6.091 m

C₁ : 1.00

C₂ : 1.00

C₃ : 1.00

k_z : 0.85

k_w : 0.85

z_g : 0.00 mm

z_a : 0.00 mm

z_s : 0.00 mm

z_j : 0.00 mm

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 : 0.013
 

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N18, per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VC+0.75·N1.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N18, per a la combinació d'accions 1.35·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q4+1.5·T2+0.9·V4+0.9·VD.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

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

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

M_{c,Rd} : 38.76 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 : <u>1</u>
W_{pl,z}: Mòdul resistent plàstic de la secció.	W_{pl,z} : <u>148.00</u> cm³
f_y: Límit elàstic.	f_y : <u>275.00</u> MPa
γ_{MO}: Coeficient parcial de seguretat del material.	γ_{MO} : <u>1.05</u>

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 : 0.012 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N239, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 9.73 kN

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

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

V_{c,Rd} : 793.55 kN

On:	
A_v: Àrea transversal a tallant.	A_v : <u>52.48</u> cm²
A_v = A – 2 · b · t_r + (t_w + r) · t_r	
Essent:	
A: Àrea de la secció transversal.	A : <u>80.40</u> cm²
b: Ample total de la secció.	b : <u>102.00</u> mm
t_r: Espessor de l'ala.	t_r : <u>16.00</u> mm
t_w: Gruix de l'ànima.	t_w : <u>13.50</u> mm
r: Radi d'acord entre ala i ànima.	r : <u>16.00</u> mm
f_y: Límit elàstic.	f_y : <u>275.00</u> MPa
γ_{MO}: Coeficient parcial de seguretat del material.	γ_{MO} : <u>1.05</u>

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:

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

25.78 < 55.46 ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima.	λ_w : <u>25.78</u>
$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$	
λ_{màx}: Esveltesa màxima.	λ_{màx} : <u>55.46</u>
$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$	
η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material.	η : <u>1.20</u>
ε: Factor de reducció.	ε : <u>0.92</u>
$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$	
Essent:	
f_{ref}: Límit elàstic de referència.	f_{ref} : <u>235.00</u> MPa
f_y: Límit elàstic.	f_y : <u>275.00</u> 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 : 0.005 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N18, per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VC+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 2.76 kN

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

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

V_{c,Rd} : 505.35 kN

On:	
A_v: Àrea transversal a tallant.	A_v : <u>33.42</u> cm²
A_v = A – d · t_w	
Essent:	
A: Àrea de la secció bruta.	A : <u>80.40</u> cm²
d: Alçada de l'ànima.	d : <u>348.00</u> mm
t_w: Gruix de l'ànima.	t_w : <u>13.50</u> mm
f_y: Límit elàstic.	f_y : <u>275.00</u> MPa
γ_{MO}: Coeficient parcial de seguretat del material.	γ_{MO} : <u>1.05</u>

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}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$
9.73 kN ≤ 396.78 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·Q5+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.
V_{Ed} : 9.73 kN

V_{c,Rd}: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant.
V_{c,Rd} : 793.55 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}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$
2.73 kN ≤ 252.67 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·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.
V_{Ed} : 2.73 kN

V_{c,Rd}: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant.
V_{c,Rd} : 505.35 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 : 0.287

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$
η : 0.808

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$
η : 0.522

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N239, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V2+1.5·VB+0.75·N1.

On:	
N_{c,Ed} : Valor de càlcul de la força de compressió.	N_{c,Ed} : 174.67 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} : 51.94 kN·m
	M_{z,Ed} : 0.31 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} : 2105.71 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} : 264.52 kN·m
	M_{pl,Rd,z} : 38.76 kN·m

Resistència a vinclament:
(Codi Estructural, Article 6.3.3)

A : Àrea de la secció bruta.	A : 80.40 cm²
W_{pl,y} , W_{pl,z} : Mòduls resistenters plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.	W_{pl,y} : 1010.00 cm³
	W_{pl,z} : 148.00 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} : 1.05

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}}$$
K_{yz} : 1.99

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}}$$
K_{zy} : 0.58

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$
K_{zz} : 1.14

Termes auxiliars:

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

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$
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} : 1.00

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

$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$	$C_{yz} : \quad 0.35$
$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{\max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$	$C_{zy} : \quad 0.96$
$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$	$C_{zz} : \quad 0.91$
$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^2 \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$	$a_{LT} : \quad 1.00$
$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$	$b_{LT} : \quad 0.01$
$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$	$c_{LT} : \quad 2.34$
$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$	$d_{LT} : \quad 0.02$
$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$	$e_{LT} : \quad 2.35$
$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$	$w_y : \quad 1.22$
$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$	$w_z : \quad 1.50$
Ja que: $\bar{\lambda}_0 > 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,FT}} \right)}$	$n_{pl} : \quad 0.08$
$C_{m,y} = C_{m,y,0} + (1 - C_{m,y,0}) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$	$1.41 > 0.20$
$C_{m,z} = C_{m,z,0}$	$C_{m,y} : \quad 1.00$
$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right)}}$	$C_{m,z} : \quad 1.00$
$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$	$C_{m,LT} : \quad 1.03$
C_{m,y,0}, C_{m,z,0}: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent. C₁: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.	$\varepsilon_y : \quad 2.37$
	$C_{m,y,0} : \quad 1.00$
	$C_{m,z,0} : \quad 1.00$
	$C_1 : \quad 1.00$

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional. λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z. λ̄_y, λ̄_z: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament. λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral. λ̄₀: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme. W_{el,y}, W_{el,z}: Mòduls resistent elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament. N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic. I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y. I_t: Mòdul de torsió uniforme	$\chi_y : \quad 0.79$
	$\chi_z : \quad 0.62$
	$\chi_{LT} : \quad 0.30$
	$\bar{\lambda}_{\max} : \quad 0.87$
	$\bar{\lambda}_y : \quad 0.59$
	$\bar{\lambda}_z : \quad 0.87$
	$\bar{\lambda}_{LT} : \quad 1.41$
	$\bar{\lambda}_0 : \quad 1.41$
	$W_{el,y} : \quad 829.47 \text{ cm}^3$
	$W_{el,z} : \quad 78.64 \text{ cm}^3$
	$N_{cr} : \quad 2941.22 \text{ kN}$
	$I_y : \quad 31520.00 \text{ cm}^4$
	$I_t : \quad 118.20 \text{ cm}^4$

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·Q5+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$	$9.73 \text{ kN} \leq 396.62 \text{ kN} \quad \checkmark$
On: V_{Ed,z}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. V_{c,Rd,z}: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant.	$V_{Ed,z} : \quad 9.73 \text{ kN}$
	$V_{c,Rd,z} : \quad 793.24 \text{ kN}$

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

S'ha de satisfer:

$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$	$\eta : \quad 0.001 \quad \checkmark$
---	---------------------------------------

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx per a la combinació d'accions
 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+0.9·T1+1.5·VA.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals.	$T_{Ed} : \quad 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$
---	---

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

$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$	$T_{Rd} : \quad 5.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$
---	---

On:

- W_T**: Mòdul de resistència a torsió.
- f_y**: Límit elàstic.
- γ_{M0}**: Coeficient parcial de seguretat del material.

- W_T** : 36.94 cm³
- f_y** : 275.00 MPa
- γ_{M0}** : 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \underline{0.012} \text{ ✓}$$

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N239, per a la combinació d'accions
 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V1+1.5·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 9.73 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} : 793.24 kN

On:

- V_{pl,Rd}**: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.
- τ_{t,Ed}**: Tensions tangencials per torsió.

V_{pl,Rd} : 793.55 kN
τ_{t,Ed} : 0.15 MPa

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

Essent:

- W_T**: Mòdul de resistència a torsió.
- f_y**: Límit elàstic.
- γ_{M0}**: Coeficient parcial de seguretat del material.

- W_T** : 36.94 cm³
- f_y** : 275.00 MPa
- γ_{M0}** : 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \underline{0.005} \text{ ✓}$$

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N18, per a la combinació d'accions
 0.8·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VC+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 2.76 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} : 505.34 kN

On:

- V_{pl,Rd}**: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.
- τ_{t,Ed}**: Tensions tangencials per torsió.

V_{pl,Rd} : 505.35 kN
τ_{t,Ed} : 0.01 MPa

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

Essent:

- W_T**: Mòdul de resistència a torsió.
- f_y**: Límit elàstic.
- γ_{M0}**: Coeficient parcial de seguretat del material.

- W_T** : 36.94 cm³
- f_y** : 275.00 MPa
- γ_{M0}** : 1.05

PILAR P19

Perfil: UPN 380, Doble en I unió genèrica (Separació entre els perfils: 160.0 / 160.0 mm i Enllaç a distància màxima) 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)		
N243	N30	4.776	160.80	31520.00	18555.30	118.20		
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	1.22	1.00	1.00			
L _K		4.776	5.840	4.776	4.776			
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:

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

25.78 ≤ 388.69

✓

On:

h_w : Cantell de l'ànima	h_w :	348.00	mm
t_w : Gruix de l'ànima.	t_w :	13.50	mm
A_w : Àrea de l'ànima.	A_w :	46.98	cm²
A_{fc} : Àrea eficaç de l'ala comprimida.	A_{fc} :	16.32	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 :

0.012

✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N30, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V3+1.5·VB.

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

N_{Ed} :

25.73

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} :

2105.71

kN

On:

A : Àrea de la secció transversal.	A :	80.40	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 :

0.082

✓

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

η :

0.119

✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N30, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

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

N_{c,Ed} :

171.85

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} :

2105.71

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.	Class :	e	1
A : Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.	A :	80.40	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:

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

On:

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

f_y: Límit elàstic.

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

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

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

Essent:

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

α_{FT}: Coeficient d'imperfecció.

λ̄: Esveltesa reduïda.

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

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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

$$i_0^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot Y_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) = 0$$

On:

σ_{cr,y}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y.
σ_{cr,z}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z.
σ_{cr,T}: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta.

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

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_w: Constant de guexesa de la secció.

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

G: Mòdul d'elasticitat transversal.
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_z: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Z, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació.

L_{kt}: Longitud eficaç de vindament per torsió.

i₀: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + Y_0^2 + Z_0^2)^{0.5}$$

Essent:

$$N_{b,Rd} = \frac{1438.7}{0} \text{ kN}$$

$$A = \frac{80.40}{2} \text{ cm}^2$$

$$f_y = \frac{275.00}{a} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

$$\chi_{FT} = 0.68$$

$$\phi_{FT} = 0.93$$

$$\alpha_{FT} = 0.49$$

$$\bar{\lambda}_{FT} = 0.77$$

$$N_{cr} = \frac{3763.9}{8} \text{ kN}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{468.16}{a} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr,y} = \frac{1191.2}{2} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr,z} = \frac{468.16}{a} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cr,T} = \infty$$

$$I_y = \frac{31520}{4} \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{18555}{4} \text{ cm}^4$$

$$I_t = \frac{118.20}{4} \text{ cm}^4$$

$$I_w = \frac{0.00}{6} \text{ cm}^6$$

$$E = \frac{210000}{a} \text{ MPa}$$

$$G = \frac{81000}{a} \text{ MPa}$$

$$\lambda_y = \frac{41.7}{a}$$

$$\lambda_z = \frac{66.5}{a}$$

$$L_{kt} = \frac{0.000}{m}$$

$$i_0 = \frac{17.65}{cm}$$

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

$$i_y = \frac{14.00}{cm}$$

$$i_z = \frac{10.74}{cm}$$

y₀ , z₀: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.

$$y_0 = \frac{0.00}{m}$$

$$z_0 = \frac{0.00}{m}$$

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta = 0.249$$

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

$$\eta = 0.681$$

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N243, per a la combinació d'accions 1.35•PP+0.8•CM1+1.05•Q2+1.05•Q4+0.9•T1+1.5•V4+1.5•VA+0.75•N1.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

$$M_{Ed}^+ = 64.02 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N243, per a la combinació d'accions 0.8•PP+1.35•CM1+1.05•Q3+1.05•Q5+0.9•T2+1.5•V2+1.5•VB.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

$$M_{Ed}^- = 65.96 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} = 264.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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.

$$W_{pl,y} = 1010.00 \text{ cm}^3$$

f_y: Límit elàstic.

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

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

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

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

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = 96.81 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

On:

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

$$W_{pl,y} = 1010.00 \text{ cm}^3$$

f_y: Límit elàstic.

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

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

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

χ_{LT} : Factor de reducció per vinclament lateral.

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

Essent:

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

α_{LT} : Coeficient d'imperfecció elàstica.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

M_{cr} : Moment crític elàstic de vinclament lateral.

El moment crític elàstic de vinclament lateral ' M_{cr} ' es determina de la següent forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right)^2 \right]^{0.5} - \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right) \right\}$$

Essent:

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

I_t : Mòdul de torsió uniforme

I_w : Constant de guernament.

E : Mòdul d'elasticitat longitudinal.

G : Mòdul d'elasticitat transversal.

L_c^+ : Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala superior.

L_c^- : Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala inferior.

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

C_2 : Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

C_3 : Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

k_z : Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al gir de la secció transversal en els extrems de la barra.

k_w : Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al balcament en els extrems de la barra.

z_g : Distància entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre d'esforços tallants, respecte a l'eix Z.

$$z_g = z_a - z_s$$

Essent:

z_a : Distància en la direcció de l'eix Z entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre geomètric.

z_s : Distància en la direcció de l'eix Z entre el centre d'esforços tallants i el centre geomètric.

z_j : Paràmetre d'asimetria de la secció, respecte a l'eix Y.

$$z_j = z_s - 0.5 \cdot \int_A \left(y^2 + z^2 \right) \cdot \left(z / I_y \right) \cdot dA$$

χ_{LT} : 0.37

ϕ_{LT} : 1.64

α_{LT} : 0.76

$\bar{\lambda}_{LT}$: 1.23

M_{cr} : 184.82 kN·m

I_z : 615.00 cm4

I_t : 59.10 cm4

I_w : 146000.00 cm6

E : 210000 MPa

G : 81000 MPa

L_c^+ : 4.776 m

L_c^- : 4.776 m

C_1 : 1.00

C_2 : 1.00

C_3 : 1.00

k_z : 0.82

k_w : 0.82

z_g : 0.00 mm

z_a : 0.00 mm

z_s : 0.00 mm

z_j : 0.00 mm

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 : 0.012 ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N30, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}^+ : Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}^+ : 0.45 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N30, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V4+1.5·VA.

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:

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

$M_{c,Rd}$: 38.76 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.

$W_{pl,z}$: 148.00 cm³

f_y : Límit elàstic.

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

η : 0.015 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N243, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VB.

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

V_{Ed} : 11.85 kN

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

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

$V_{c,Rd}$: 793.55 kN

On:

A_v : Àrea transversal a tallant.

A_v : 52.48 cm²

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

Essent:

- A:** Àrea de la secció transversal.
- b:** Ample total de la secció.
- t_f:** Espessor de l'ala.
- t_w:** Gruix de l'ànima.
- r:** Radi d'acord entre ala i ànima.

f_y: Límit elàstic.

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

- A :** 80.40 cm²
- b :** 102.00 mm
- t_f :** 16.00 mm
- t_w :** 13.50 mm
- r :** 16.00 mm

f_y : 275.00 MPa

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:

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

25.78 < 55.46 

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima.

λ_w : 25.78

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

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

λ_{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 : 0.005 

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N243, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 2.65 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} : 505.35 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 33.42 cm²

A_v = A – d · t_w

Essent:

A: Àrea de la secció bruta.

A : 80.40 cm²

d: Alçada de l'ànima.

d : 348.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 13.50 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}.

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

11.85 kN ≤ 396.78 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·Q5+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VB.

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

V_{Ed} : 11.85 kN

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

V_{c,Rd} : 793.55 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}.

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

2.65 kN ≤ 252.67 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·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 2.65 kN

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

V_{c,Rd} : 505.35 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 : 0.298 ✓

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

η : 0.744 ✓

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

η : 0.429 ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N243, per a la combinació d'accions
 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+0.9·T2+1.5·V2+1.5·VB+0.75·N1.

On:

N_{c,Ed} : Valor de càlcul de la força de compressió.	N_{c,Ed} :	95.16	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} :	65.93	kN·m
	M_{z,Ed} :	0.13	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	
N_{pl,Rd} : Resistència a compressió de la secció bruta.	N_{pl,Rd} :	2105.71	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} :	264.52	kN·m
	M_{pl,Rd,z} :	38.76	kN·m

Resistència a vinyament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A : Àrea de la secció bruta.	A :	80.40	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} :	1010.00	cm³
	W_{pl,z} :	148.00	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} : 1.02

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

K_{yz} : 1.93

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

K_{zy} : 0.56

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

K_{zz} : 1.09

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} : 0.35

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

C_{zy} : 0.99

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

C_{zz} : 0.94

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

a_{LT} : 1.00

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

b_{LT} : 0.00

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

c_{LT} : 1.91

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

d_{LT} : 0.01

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

e_{LT} : 3.18

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

w_y : 1.22

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

w_z : 1.50

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

n_{pl} : 0.05

Ja que:

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

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

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

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

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

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

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

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

λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z.

λ̄_y, λ̄_z: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

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

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

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

1.23 > 0.20

C_{m,y} : 1.00

C_{m,z} : 1.00

C_{m,LT} : 1.01

ε_y : 5.51

C_{m,y,0} : 1.00

C_{m,z,0} : 1.00

C₁ : 1.00

χ_y : 1.00

χ_z : 1.00

χ_{LT} : 0.37

λ̄_{màx} : 0.77

λ̄_y : 0.48

λ̄_z : 0.77

λ̄_{LT} : 1.23

λ̄₀ : 1.23

W_{el,y} : 829.47 cm³

W_{el,z} : 78.64 cm³

N_{cr} : 3763.98 kN

I_y : 31520.00 cm4

I_t : 118.20 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·Q5+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VB.

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

On:

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

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

11.85 kN ≤ 396.68 kN ✓

V_{Ed,z} : 11.85 kN

V_{c,Rd,z} : 793.36 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 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q6+0.9·T1+1.5·VB.

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:

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

T_{Rd} : 5.59 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

f_y: Límit elàstic.

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

W_T : 36.94 cm³

f_y : 275.00 MPa

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 en el nus N243, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q5+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VB.

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

V_{Ed} : 11.85 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} : 793.36 kN

On:

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

V_{pl,Rd} : 793.55 kN

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

τ_{t,Ed} : 0.09 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

W_T : 36.94 cm³
f_y : 275.00 MPa
γ_{M0} : 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N243, per a la combinació d'accions
 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 2.65 kN

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

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} : 505.28 kN

On:

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

V_{pl,Rd} : 505.35 kN

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

τ_{t,Ed} : 0.05 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

W_T : 36.94 cm³
f_y : 275.00 MPa
γ_{M0} : 1.05

PILAR P18

Perfil: UPN 380, Doble en I unió genèrica (Separació entre els perfils: 160.0 / 160.0 mm i Enllaç a distància màxima)
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)	
N244	N33	4.448	160.80	31520.00	18555.30	118.20	
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	1.24	1.00		1.00		
L _k	4.448	5.510	4.448		4.448		
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:

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

25.78 ≤ 388.69

On:

h_w: Cantell de l'ànima
t_w: Gruix de l'ànima.
A_w: Àrea de l'ànima.
A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida.
k: Coeficient que depèn de la classe de la secció.
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.
f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida.
 Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w : 348.00 mm
t_w : 13.50 mm
A_w : 46.98 cm²
A_{fc} : 16.32 cm²
k : 0.30
E : 210000 MPa
f_{yf} : 275.00 MPa

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

S'ha de satisfer:

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

η :

0.013

✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N33, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V4+1.5·VA.

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

N_{Ed} : 28.03 kN

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

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

$N_{t,Rd}$:

2105.71

kN

On:

A: Àrea de la secció transversal.

A : 80.40 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 :

0.091

✓

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

η :

0.131

✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N33, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

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

N_{c,Ed} : 192.15 kN

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

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

$N_{c,Rd}$:

2105.71

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.

Class :
e 1

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

A : 80.40 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:

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

$N_{b,Rd}$:

1469.18

kN

On:

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

A : 80.40 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.

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

χ_{FT} : 0.70

Essent:

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

φ_{FT} : 0.91

α_{FT}: Coeficient d'imperfecció.

α_{FT} : 0.49

λ̄: Esveltesa reduïda.

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

λ̄_{FT} : 0.74

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

N_{cr} : 4001.49 kN

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

$$I_0^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot \gamma_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) \cdot \gamma_0^2 = 0$$

σ_{cr} :

497.70

MPa

On:

σ_{cr,y}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y.

σ_{cr,y} : 1338.18 MPa

σ_{cr,z}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z.

σ_{cr,z} : 497.70 MPa

σ_{cr,T}: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta.

σ_{cr,T} : ∞

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

I_y : 31520.00 cm⁴

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

I_z : 18555.30 cm⁴

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_t : 118.20 cm⁴

I_w: Constant de guexesa 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 : 39.4

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 : 64.5

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

L_{kt} : 0.000 m

i_o: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.

i_o : 17.65 cm

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

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z.	:	
	i_y	<u>14.00</u> cm
	:	
	i_z	<u>10.74</u> cm
	:	m
y_o , z_o: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.	y_o	<u>0.00</u> m
	:	m
	z_o	<u>0.00</u> m

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \quad \underline{0.216} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \quad \underline{0.559} \quad \checkmark$$

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N244, 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.

M_{Ed}^+ : Valor de càlcul del moment flector.

$$\mathbf{M_{Ed}^+} : \quad \underline{57.20} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N244, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+0.9·T2+1.5·V2+1.5·VB.

M_{Ed}^- : Valor de càlcul del moment flector.

$$\mathbf{M_{Ed}^-} : \quad \underline{56.83} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$\mathbf{M_{c,Rd}} : \quad \underline{264.52} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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.

$$\mathbf{Classe} : \quad \underline{1}$$

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

$$\mathbf{W_{pl,y}} : \quad \underline{1010.00} \quad \text{cm}^3$$

f_y : Límit elàstic.

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

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

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

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

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

$$\mathbf{M_{b,Rd}} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\mathbf{M_{b,Rd}} : \quad \underline{102.39} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

On:

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

$$\mathbf{W_{pl,y}} : \quad \underline{1010.00} \quad \text{cm}^3$$

f_y : Límit elàstic.

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

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

$$\mathbf{\gamma_{M1}} : \quad \underline{1.05}$$

χ_{LT} : Factor de reducció per vinclament lateral.

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

$$\chi_{LT} : \quad \underline{0.39}$$

Essent:

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

$$\phi_{LT} : \quad \underline{1.56}$$

α_{LT} : Coeficient d'imperfecció elàstica.

$$\alpha_{LT} : \quad \underline{0.76}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \quad \underline{1.17}$$

M_{cr} : Moment crític elàstic de vinclament lateral.

El moment crític elàstic de vinclament lateral ' M_{cr} ' es determina de la següent forma:

$$\mathbf{M_{cr}} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right)^2 \right]^{0.5} - \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right) \right\}$$

Essent:

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

$$\mathbf{I_z} : \quad \underline{615.00} \quad \text{cm}^4$$

I_t : Mòdul de torsió uniforme

$$\mathbf{I_t} : \quad \underline{59.10} \quad \text{cm}^4$$

I_w : Constant de guerxament.

$$\mathbf{I_w} : \quad \underline{146000.00} \quad \text{cm}^6$$

E : Mòdul d'elasticitat longitudinal.

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

G : Mòdul d'elasticitat transversal.

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

L_c^+ : Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala superior.

$$\mathbf{L_c^+} : \quad \underline{4.448} \quad \text{m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala inferior.

$$\mathbf{L_c^-} : \quad \underline{4.448} \quad \text{m}$$

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

$$\mathbf{C_1} : \quad \underline{1.00}$$

C_2 : Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

$$\mathbf{C_2} : \quad \underline{1.00}$$

C_3 : Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

$$\mathbf{C_3} : \quad \underline{1.00}$$

k_z : Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al gir de la secció transversal en els extrems de la barra.

$$\mathbf{k_z} : \quad \underline{0.81}$$

k_w : Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al balcament en els extrems de la barra.

$$\mathbf{k_w} : \quad \underline{0.81}$$

z_g : Distància entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre d'esforços tallants, respecte a l'eix Z.

$$\mathbf{z_g} : \quad \underline{0.00} \quad \text{mm}$$

$$\mathbf{z_g} = z_a - z_s$$

Essent:

z_a : Distància en la direcció de l'eix Z entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre geomètric.

$$\mathbf{z_a} : \quad \underline{0.00} \quad \text{mm}$$

z_s : Distància en la direcció de l'eix Z entre el centre d'esforços tallants i el centre geomètric.

$$\mathbf{z_s} : \quad \underline{0.00} \quad \text{mm}$$

z_j : Paràmetre d'asimetria de la secció, respecte a l'eix Y.

$$\mathbf{z_j} : \quad \underline{0.00} \quad \text{mm}$$

$$\mathbf{z_j} = z_s - 0.5 \cdot \int_A \left(y^2 + z^2 \right) \cdot \left(z / I_y \right) \cdot dA$$

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 : 0.010 ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N33, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector. **M_{Ed}⁺** : 0.41 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N33, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+0.9·T2+1.5·V4+1.5·VA.

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:

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

M_{c,Rd} : 38.76 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}** : 148.00 cm³

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

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

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

S'ha de satisfer:

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

η : 0.014 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N244, 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·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : 10.74 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} : 793.55 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant. **A_v** : 52.48 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció transversal. **A** : 80.40 cm²

b: Ample total de la secció. **b** : 102.00 mm

t_f: Espessor de l'ala. **t_f** : 16.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima. **t_w** : 13.50 mm

r: Radi d'acord entre ala i ànima. **r** : 16.00 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:

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

25.78 < 55.46 ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima. **λ_w** : 25.78

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

λ_{màx}: Esveltesa màxima. **λ_{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 : 0.005 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N244, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : 2.50 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} : 505.35 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.
 A_v : 33.42 cm²

A_v = A – d · t_w

Essent:

A: Àrea de la secció bruta.
 A : 80.40 cm²

d: Alçada de l'ànima.
 d : 348.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.
 t_w : 13.50 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}**.

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

10.74 kN ≤ 396.78 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+0.9·T1+1.5·V3+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.
 V_{Ed} : 10.74 kN

V_{c,Rd}: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant.
 V_{c,Rd} : 793.55 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}**.

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

2.50 kN ≤ 252.67 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·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.
 V_{Ed} : 2.50 kN

V_{c,Rd}: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant.
 V_{c,Rd} : 505.35 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 : 0.272 ✓

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

η : 0.625 ✓

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

η : 0.368 ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N244, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+0.9·T2+1.5·V2+1.5·VB+0.75·N1.

On:

N_{c,Ed}: Valor de càlcul de la força de compressió.
 N_{c,Ed} : 112.97 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} : 56.70 kN·m

M_{z,Ed} : 0.15 kN·m

Classe : 1

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.

N_{pl,Rd}: Resistència a compressió de la secció bruta.
 N_{pl,Rd} : 2105.71 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} : 264.52 kN·m

M_{pl,Rd,z} : 38.76 kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta.
 A : 80.40 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} : 1010.00 cm³

W_{pl,z} : 148.00 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} : 1.02

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

K_{yz} : 1.94

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

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

Termes auxiliars:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$K_{zy} : \quad 0.56$

$K_{zz} : \quad 1.09$

$\mu_y : \quad 1.00$

$\mu_z : \quad 1.00$

$C_{yy} : \quad 1.00$

$C_{yz} : \quad 0.35$

$C_{zy} : \quad 0.99$

$C_{zz} : \quad 0.94$

$a_{LT} : \quad 1.00$

$b_{LT} : \quad 0.00$

$c_{LT} : \quad 1.43$

$d_{LT} : \quad 0.01$

$e_{LT} : \quad 2.72$

$w_y : \quad 1.22$

$w_z : \quad 1.50$

$\eta_{pl} : \quad 0.05$

Ja que:

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

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0} \right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

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

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right)}}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

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

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

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

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

λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z.

λ̄_y, **λ̄_z**: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

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

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

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

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·Q3+1.05·Q4+0.9·T1+1.5·V3+1.5·VA+0.75·N1.

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

On:

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

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

$1.17 > 0.20$

$C_{m,y} : \quad 1.00$

$C_{m,z} : \quad 1.00$

$C_{m,LT} : \quad 1.01$

$\varepsilon_y : \quad 4.00$

$C_{m,y,0} : \quad 1.00$

$C_{m,z,0} : \quad 1.00$

$C_1 : \quad 1.00$

$\chi_y : \quad 1.00$

$\chi_z : \quad 1.00$

$\chi_{LT} : \quad 0.39$

$\bar{\lambda}_{\max} : \quad 0.74$

$\bar{\lambda}_y : \quad 0.45$

$\bar{\lambda}_z : \quad 0.74$

$\bar{\lambda}_{LT} : \quad 1.17$

$\bar{\lambda}_0 : \quad 1.17$

$W_{el,y} : \quad 829.47 \quad \text{cm}^3$

$W_{el,z} : \quad 78.64 \quad \text{cm}^3$

$N_{cr} : \quad 4001.49 \quad \text{kN}$

$I_y : \quad 31520.00 \quad \text{cm}^4$

$I_t : \quad 118.20 \quad \text{cm}^4$

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
0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q6+1.5·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:

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

T_{Rd} : 5.59 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

W_T : 36.94 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 : 0.014 ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N244, 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·VA+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 10.74 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} : 793.22 kN

On:

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

V_{pl,Rd} : 793.55 kN

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

τ_{t,Ed} : 0.16 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

W_T : 36.94 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 : 0.005 ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N244, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q1+1.05·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VD+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 2.50 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} : 505.29 kN

On:

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

V_{pl,Rd} : 505.35 kN

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

τ_{t,Ed} : 0.04 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

W_T : 36.94 cm³

f_y: Límit elàstic.

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

PILAR
 P11

Perfil: UPN 350, Doble en I unió genèrica (Separació entre els perfils: 160.0 / 160.0 mm i Enllaç a distància màxima) 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)			
N11	N12	3.186	154.60	25680.00	17861.54	122.40			
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	1.32	1.00	1.00	1.00					
L _K	4.200	3.180	3.186	3.186					
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:

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

22.71 ≤ 382.14

On:

- h_w**: Cantell de l'ànima
 - t_w**: Gruix de l'ànima.
 - A_w**: Àrea de l'ànima.
 - A_{fc}**: Àrea eficaç de l'ala comprimida.
 - k**: Coeficient que depèn de la classe de la secció.
 - E**: Mòdul d'elasticitat longitudinal.
 - f_{yf}**: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida.
- Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

- h_w**: 318.00 mm
- t_w**: 14.00 mm
- A_w**: 44.52 cm²
- A_{fc}**: 16.00 cm²
- k**: 0.30
- E**: 210000 MPa
- f_{yf}**: 275.00 MPa

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

S'ha de satisfer:

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

η : 0.026

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·VB.

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

N_{Ed}: 52.64 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}: 2024.52 kN

On:

- A**: Àrea de la secció transversal.
- f_y**: Límit elàstic.
- γ_{M0}**: Coeficient parcial de seguretat del material.

- A**: 77.30 cm²
- f_y**: 275.00 MPa
- 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 : 0.063

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·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

N_{c,Ed}: 127.19 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}: 2024.52 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.
- A**: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
- f_y**: Límit elàstic.
- γ_{M0}**: Coeficient parcial de seguretat del material.

Classe: 1

- A**: 77.30 cm²
- f_y**: 275.00 MPa
- 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.

$\bar{\lambda}$: 0.73

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

N_{c,Ed}/**N_{cr}**: Relació d'axials.

N_{c,Ed}/**N_{cr}**: 0.032

On:

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

f_y: Límit elàstic.

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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

$$i_0^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot Y_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot Z_0^2 = 0$$

On:

σ_{cr,y}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y.

σ_{cr,z}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z.

σ_{cr,T}: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta.

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

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_w: Constant de guerxesa de la secció.

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

G: Mòdul d'elasticitat transversal.

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

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

i₀: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + Y_0^2 + Z_0^2)^{0.5}$$

Essent:

i_y , **i_z**: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z.

Y₀ , **Z₀**: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.

A : 77.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
N_{cr} : 4028.42 kN

σ_{cr} : 521.14 MPa

σ_{cr,y} : 3404.48 MPa

σ_{cr,z} : 521.14 MPa

σ_{cr,T} : ∞
I_y : 25680.00 cm4
I_z : 17861.54 cm4
I_t : 122.40 cm4
I_w : 0.00 cm6
E : 210000 MPa
G : 81000 MPa

λ_y : 24.7

λ_z : 63.1
L_{kt} : 0.000 m
i₀ : 16.78 cm

i_y : 12.89 cm
i_z : 10.75 cm
Y₀ : 0.00 mm
Z₀ : 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 : 0.286 ✓

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

η : 0.568 ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N12, 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}⁺ : 68.77 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:

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

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.

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

f_y: Límit elàstic.

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

M_{c,Rd} : 240.43 kN·m

Classe : 1

W_{pl,y} : 918.00 cm³

f_y : 275.00 MPa
γ_{M0} : 1.05

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

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

M_{b,Rd} : 121.06 kN·m

On:

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

f_y: Límit elàstic.

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

W_{pl,y} : 918.00 cm³

f_y : 275.00 MPa
γ_{M1} : 1.05

χ_{LT}: Factor de reducció per vinclament lateral.

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

χ_{LT} : 0.50

Essent:

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

φ_{LT} : 1.21

α_{LT}: Coeficient d'imperfecció elàstica.

α_{LT} : 0.76

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

λ̄_{LT} : 0.93

M_{cr}: Moment crític elàstic de vinclament lateral.

El moment crític elàstic de vinclament lateral 'M_{cr}' es determina de la següent forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2 \right]^{0.5} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right\}$$

Essent:

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

I_z : 570.00 cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_t : 61.20 cm4

I_w: Constant de guerxament.

I_w : 114000.00 cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

E : 210000 MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal.

G : 81000 MPa

L_c⁺: Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala superior.

L_c⁺ : 3.186 m

L_c⁻: Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala inferior.

L_c⁻ : 3.186 m

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

C₁ : 1.00

C₂: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

C₂ : 1.00

C₃: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

k_z: Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al gir de la secció transversal en els extrems de la barra.

k_w: Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al balçament en els extrems de la barra.

z_g: Distància entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre d'esforços tallants, respecte a l'eix Z.

z_g = z_a - z_s

Essent:

z_a: Distància en la direcció de l'eix Z entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre geomètric.

z_s: Distància en la direcció de l'eix Z entre el centre d'esforços tallants i el centre geomètric.

z_j: Paràmetre d'asimetria de la secció, respecte a l'eix Y.

z_j = z_s - 0.5 · ∫_A (y² + z²) · (z/I_y) · dA

C₃ : 1.00

k_z : 0.76

k_w : 0.76

z_g : 0.00 mm

z_a : 0.00 mm

z_s : 0.00 mm

z_j : 0.00 mm

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 : 0.014 ✓

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+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁺ : 0.52 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+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q6+1.5·T2+0.9·V3+0.9·VA.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁻ : 0.26 kN·m

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

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

M_{c,Rd} : 37.45 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} : 143.00 cm³

f_y: Límit elàstic.

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

η : 0.017 ✓

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·Q2+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 13.04 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} : 757.57 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 50.10 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció transversal.

A : 77.30 cm²

b: Ample total de la secció.

b : 100.00 mm

t_f: Espessor de l'ala.

t_f : 16.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 14.00 mm

r: Radi d'acord entre ala i ànima.

r : 16.00 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:

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

22.71 < 55.46 ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima.

λ_w : 22.71

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

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

λ_{màx} : 55.46

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

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

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

Essent:

f_{ref}: Límit elàstic de referència.

f_y: Límit elàstic.

f_{ref} : 235.00 MPa

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 : 0.007 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N12, 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·VD.

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

V_{Ed} : 3.59 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} : 495.67 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 32.78 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció bruta.

A : 77.30 cm²

d: Alçada de l'ànima.

d : 318.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 14.00 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}**.

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

13.04 kN ≤ 378.78 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produeixen per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 13.04 kN

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

V_{c,Rd} : 757.57 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}**.

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

3.59 kN ≤ 247.83 kN ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produeixen 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·VC.

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

V_{Ed} : 3.59 kN

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

V_{c,Rd} : 495.67 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 : 0.328 ✓

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

η : 0.613 ✓

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

η : 0.357 ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produeixen en el nus N12, 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.

On:

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

N_{c,Ed} : 77.30 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}⁺ : 68.77 kN·m

M_{z,Ed}⁺ : 0.12 kN·m

Classe : 1

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.

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

N_{pl,Rd} : 2024.52 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} : 240.43 kN·m
M_{pl,Rd,z} : 37.45 kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta.
W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material.

A : 77.30 cm²
W_{pl,y} : 918.00 cm³
W_{pl,z} : 143.00 cm³
f_y : 275.00 MPa
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} : 1.21

$$K_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}}$$

K_{zy} : 0.56

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

K_{zz} : 1.05

Termes auxiliars:

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

μ_y : 1.00

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

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} : 0.56

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

C_{zy} : 0.99

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

C_{zz} : 0.97

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

a_{LT} : 1.00

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

b_{LT} : 0.00

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

c_{LT} : 0.93

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

d_{LT} : 0.01

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

e_{LT} : 2.36

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

w_y : 1.25

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

w_z : 1.50

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

n_{pl} : 0.04

Ja que:

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

0.93 > **0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + (1 - C_{m,y,0}) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

C_{m,y} : 1.00

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

C_{m,z} : 1.00

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right)}}$$

C_{m,LT} : 1.00

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

ε_y : 7.49

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

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

C₁ : 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} : 0.50

λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z.

λ̄_{màx} : 0.73

λ̄_y, **λ̄_z**: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

λ̄_y : 0.28

λ̄_z : 0.73

λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

λ̄_{LT} : 0.93

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

λ̄₀ : 0.93

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} : 733.71 cm³

W_{el,z} : 75.00 cm³

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

N_{cr} : 4028.42 kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.
I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_y : 25680.00 cm4
I_t : 122.40 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·Q6+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

13.04 kN ≤ 378.66 kN

On:

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

V_{Ed,z} : 13.04 kN

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

V_{c,Rd,z} : 757.33 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 : 0.002

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·Q7+0.9·VA.

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:

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

T_{Rd} : 5.78 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

W_T : 38.25 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 : 0.017

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·Q2+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 13.04 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} : 757.33 kN

On:

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

V_{pl,Rd} : 757.57 kN

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

τ_{t,Ed} : 0.12 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

W_T : 38.25 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 : 0.007

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N12, 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·VD.

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

V_{Ed} : 3.59 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} : 495.42 kN

On:

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

V_{pl,Rd} : 495.67 kN

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

τ_{t,Ed} : 0.19 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

f_y: Límit elàstic.

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

W_T : 38.25 cm³

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : 1.05

PILAR P12

Perfil: UPN 350, Doble en I unió genèrica (Separació entre els perfils: 160.0 / 160.0 mm i Enllaç a distància màxima) 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)		
N251	N79	3.299	154.60	25680.00	17861.54	122.40		
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	1.32	1.00	1.00			
L _k		3.299	4.360	3.299	3.299			
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:

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

22.71 ≤ 382.14 ✓

On:

h_w : Cantell de l'ànima	h_w :	<u>318.00</u>	mm
t_w : Gruix de l'ànima.	t_w :	<u>14.00</u>	mm
A_w : Àrea de l'ànima.	A_w :	<u>44.52</u>	cm²
A_{fc} : Àrea eficaç de l'ala comprimida.	A_{fc} :	<u>16.00</u>	cm²
k : Coeficient que depèn de la classe de la secció.	k :	<u>0.30</u>	
E : Mòdul d'elasticitat longitudinal.	E :	<u>210000</u>	MPa
f_{yf} : Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida.	f_{yf} :	<u>275.00</u>	MPa

Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

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

S'ha de satisfer:

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

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·Q6+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VD.

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

N_{Ed} : 7.41 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} : 2024.52 kN

On:

- A**: Àrea de la secció transversal.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

A : 77.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
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 : 0.038

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·Q2+1.5·Q7+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VC+0.75·N1.

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

N_{c,Ed} : 77.61 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} : 2024.52 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.
- A**: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.
- Classe** : 1
- A** : 77.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
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.

λ̄: Esveltesa reduïda.

λ̄ : 0.67

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

N_{c,Ed}/N_{cr}: Relació d'axials.

N_{c,Ed}/N_{cr} : 0.016

On:

- A**: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
f_y: Límit elàstic.
N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.
La tensió crítica elàstica de vinclament **σ_{cr}** és el valor de la menor de les arrels de la següent equació cúbica:
- A** : 77.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
N_{cr} : 4722.68 kN

$$i_0^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,t}) - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot \gamma_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot z_0^2 = 0$$

σ_{cr} : 610.95 MPa

On:

- σ_{cr,y}**: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y.
σ_{cr,z}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z.
σ_{cr,t}: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta.
I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.
I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z.
I_t: Mòdul de torsió uniforme
I_w: Constant de guerdexa de la secció.
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.
G: Mòdul d'elasticitat transversal.
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_z: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Z, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació.
L_{kt}: Longitud eficaç de vindament per torsió.
i_o: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.
- σ_{cr,y}** : 1811.05 MPa
σ_{cr,z} : 610.95 MPa
σ_{cr,t} : ∞
I_y : 25680.00 cm4
I_z : 17861.54 cm4
I_t : 122.40 cm4
I_w : 0.00 cm6
E : 210000 MPa
G : 81000 MPa
λ_y : 33.8
λ_z : 58.2
L_{kt} : 0.000 m
i_o : 16.78 cm

$$i_0 = \left(i_y^2 + i_z^2 + \gamma_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Essent:

- i_y** , **i_z**: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z.
y_o , **z_o**: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.
- i_y** : 12.89 cm
i_z : 10.75 cm
y_o : 0.00 mm
z_o : 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 : 0.276

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

η : 0.561

Per flexió positiva:

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}⁺ : 66.37 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:

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

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

S'ha de satisfer:

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

$\eta : \underline{0.026} \checkmark$

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N251, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 20.04 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} : 757.57 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 50.10 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció transversal.

A : 77.30 cm²

b: Ample total de la secció.

b : 100.00 mm

t_f: Espessor de l'ala.

t_f : 16.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 14.00 mm

r: Radi d'acord entre ala i ànima.

r : 16.00 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:

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

$22.71 < \underline{55.46} \checkmark$

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima.

λ_w : 22.71

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

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

λ_{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:

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

$\eta : \underline{0.004} \checkmark$

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N251, 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+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 1.74 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} : 495.67 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 32.78 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció bruta.

A : 77.30 cm²

d: Alçada de l'ànima.

d : 318.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 14.00 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 forca 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}**.

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

$20.04 \text{ kN} \leq \underline{378.78 \text{ kN}} \checkmark$

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produeixen per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 20.04 kN

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

V_{c,Rd} : 757.57 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}**.

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

1.74 kN ≤ 247.83 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·Q6+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VD+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 1.74 kN

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

V_{c,Rd} : 495.67 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 : 0.311 ✓

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

η : 0.598 ✓

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

η : 0.345 ✓

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·Q1+1.5·Q7+0.9·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} : 67.63 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}⁺ : 66.37 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} : 2024.52 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} : 240.43 kN·m

M_{pl,Rd,z} : 37.45 kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta.

A : 77.30 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} : 918.00 cm³

W_{pl,z} : 143.00 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} : 1.25

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

K_{zy} : 0.55

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

K_{zz} : 1.05

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} : 0.53

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

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} : 0.96

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

a_{LT} : 1.00

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_{0}^{-2} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

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

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

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

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

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

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

Ja que:

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

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

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

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

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

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

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

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

λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z.

λ̄_y, **λ̄_z**: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

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

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

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

$$b_{LT} : \quad 0.00$$

$$c_{LT} : \quad 0.97$$

$$d_{LT} : \quad 0.00$$

$$e_{LT} : \quad 2.99$$

$$w_y : \quad 1.25$$

$$w_z : \quad 1.50$$

$$n_{pl} : \quad 0.03$$

$$0.95 > 0.20$$

$$C_{m,y} : \quad 1.00$$

$$C_{m,z} : \quad 1.00$$

$$C_{m,LT} : \quad 1.00$$

$$\varepsilon_y : \quad 8.26$$

$$C_{m,y,0} : \quad 1.00$$

$$C_{m,z,0} : \quad 1.00$$

$$C_1 : \quad 1.00$$

$$\chi_y : \quad 1.00$$

$$\chi_z : \quad 1.00$$

$$\chi_{LT} : \quad 0.49$$

$$\bar{\lambda}_{m\grave{a}x} : \quad 0.67$$

$$\bar{\lambda}_y : \quad 0.39$$

$$\bar{\lambda}_z : \quad 0.67$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \quad 0.95$$

$$\bar{\lambda}_0 : \quad 0.95$$

$$W_{el,y} : \quad 733.71 \quad \text{cm}^3$$

$$W_{el,z} : \quad 75.00 \quad \text{cm}^3$$

$$N_{cr} : \quad 4722.68 \quad \text{kN}$$

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

$$I_y : \quad 25680.00 \quad \text{cm}^4$$

$$I_t : \quad 122.40 \quad \text{cm}^4$$

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·Q1+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

$$20.04 \text{ kN} \leq 378.70 \text{ kN} \quad \checkmark$$

On:

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

$$V_{Ed,z} : \quad 20.04 \quad \text{kN}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \quad 757.40 \quad \text{kN}$$

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \quad 0.002 \quad \checkmark$$

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·Q7+0.9·VA.

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

$$T_{Ed} : \quad 0.01 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$T_{Rd} : \quad 5.78 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

$$W_T : \quad 38.25 \quad \text{cm}^3$$

f_y: Límit elàstic.

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

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

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

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

S'ha de satisfer:

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

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N251, per a la combinació d'accions
1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

η : 0.026 ✓

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

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_{Ed} : 20.04 kN

T_{Ed} : 0.00 kN·m

V_{pl,T,Rd} : 757.40 kN

On:

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

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

f_y: Límit elàstic.

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

V_{pl,Rd} : 757.57 kN

τ_{t,Ed} : 0.08 MPa

W_T : 38.25 cm³

f_y : 275.00 MPa

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 en el nus N251, 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+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 1.74 kN

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

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

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

T_{Ed} : 0.00 kN·m

V_{pl,T,Rd} : 495.66 kN

On:

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

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

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

V_{pl,Rd} : 495.67 kN

τ_{t,Ed} : 0.00 MPa

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

f_y: Límit elàstic.

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

W_T : 38.25 cm³

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : 1.05

PILAR P10

Perfil: UPN 350, Doble en I unió genèrica (Separació entre els perfils: 160.0 / 160.0 mm i Enllaç a distància màxima) 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)			
N91	N78	2.867	154.60	25680.00	17861.54	122.40			
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	1.41	1.00	1.00	1.00					
L _K	4.040	2.870	2.867	2.867					
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:

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

22.71 ≤ 382.14

✓

On:

- h_w**: Cantell de l'ànima
 - t_w**: Gruix de l'ànima.
 - A_w**: Àrea de l'ànima.
 - A_{fc}**: Àrea eficaç de l'ala comprimida.
 - k**: Coeficient que depèn de la classe de la secció.
 - E**: Mòdul d'elasticitat longitudinal.
 - f_{yf}**: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida.
- Essent:

$$f_{yf} = f_y$$

- h_w**: 318.00 mm
- t_w**: 14.00 mm
- A_w**: 44.52 cm²
- A_{fc}**: 16.00 cm²
- k**: 0.30
- E**: 210000 MPa
- f_{yf}**: 275.00 MPa

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

S'ha de satisfer:

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

η :

0.011

✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N91, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VB.

N_{Ed}:

Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció.

N_{Ed} :

22.74

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} :

2024.52

kN

On:

- A**: Àrea de la secció transversal.
- f_y**: Límit elàstic.
- γ_{M0}**: Coeficient parcial de seguretat del material.

- A**: 77.30 cm²
- f_y**: 275.00 MPa
- 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 :

0.049

✓

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+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VC+0.75·N1.

N_{c,Ed}:

Valor de càlcul de la força de compressió.

N_{c,Ed} :

98.20

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} :

2024.52

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.
- A**: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
- f_y**: Límit elàstic.
- γ_{M0}**: Coeficient parcial de seguretat del material.

- Classe**: 1
- A**: 77.30 cm²
- f_y**: 275.00 MPa
- 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.

λ̄:

Esveltesa reduïda.

λ̄ :

0.72

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

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

Relació d'axials.

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

0.024

On:

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

f_y: Límit elàstic.

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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

$$i_0^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot y_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot z_0^2 = 0$$

On:

σ_{cr,y}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y.

σ_{cr,z}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z.

σ_{cr,T}: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta.

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

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

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_w: Constant de guerdexa de la secció.

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

G: Mòdul d'elasticitat transversal.

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

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

i₀: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.

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

Essent:

i_y , **i_z**: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z.

y₀ , **z₀**: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.

A : 77.30 cm²

f_y : 275.00 MPa

N_{cr} : 4147.42 kN

σ_{cr} : 536.54 MPa

σ_{cr,y} : 4179.66 MPa

σ_{cr,z} : 536.54 MPa

σ_{cr,T} : ∞

I_y : 25680.00 cm4

I_z : 17861.54 cm4

I_t : 122.40 cm4

I_w : 0.00 cm6

E : 210000 MPa

G : 81000 MPa

λ_y : 22.3

λ_z : 62.2

L_{kt} : 0.000 m

i₀ : 16.78 cm

i_y : 12.89 cm

i_z : 10.75 cm

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 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 : 0.292 ✓

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

η : 0.541 ✓

Per flexió positiva:

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}⁺ : 70.18 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:

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

M_{c,Rd} : 240.43 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} : 918.00 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)

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

M_{b,Rd} : 129.69 kN·m

On:

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

W_{pl,y} : 918.00 cm³

f_y: Límit elàstic.

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M1} : 1.05

χ_{LT}: Factor de reducció per vinclament lateral.

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

χ_{LT} : 0.54

Essent:

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

φ_{LT} : 1.13

α_{LT}: Coeficient d'imperfeció elàstica.

α_{LT} : 0.76

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

λ̄_{LT} : 0.87

M_{cr}: Moment crític elàstic de vinclament lateral.

M_{cr} : 335.48 kN·m

El moment crític elàstic de vinclament lateral 'M_{cr}' es determina de la següent forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2 \right]^{0.5} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right\}$$

Essent:

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

I_z : 570.00 cm4

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_t : 61.20 cm4

I_w: Constant de guerdament.

I_w : 114000.00 cm6

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

E : 210000 MPa

G: Mòdul d'elasticitat transversal.

G : 81000 MPa

L_c⁺: Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala superior.

L_c⁺ : 2.867 m

L_c⁻: Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala inferior.

L_c⁻ : 2.867 m

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

C₁ : 1.00

C₂: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

C₂ : 1.00

C₃: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

k_z: Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al gir de la secció transversal en els extrems de la barra.

k_w: Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al balçament en els extrems de la barra.

z_g: Distància entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre d'esforços tallants, respecte a l'eix Z.

z_g = z_a - z_s

Essent:

z_a: Distància en la direcció de l'eix Z entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre geomètric.

z_s: Distància en la direcció de l'eix Z entre el centre d'esforços tallants i el centre geomètric.

z_j: Paràmetre d'asimetria de la secció, respecte a l'eix Y.

z_j = z_s - 0.5 · ∫_A (y² + z²) · (z/I_y) · dA

C₃ : 1.00

k_z : 0.71

k_w : 0.71

z_g : 0.00 mm

z_a : 0.00 mm

z_s : 0.00 mm

z_j : 0.00 mm

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 : 0.008 ✓

Per flexió positiva:

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+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁺ : 0.32 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N91, 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·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:

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

M_{c,Rd} : 37.45 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} : 143.00 cm³

f_y: Límit elàstic.

f_y : 275.00 MPa

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

γ_{M0} : 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

η : 0.015 ✓

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·Q2+1.5·Q5+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 11.19 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} : 757.57 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 50.10 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció transversal.

A : 77.30 cm²

b: Ample total de la secció.

b : 100.00 mm

t_f: Espessor de l'ala.

t_f : 16.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 14.00 mm

r: Radi d'acord entre ala i ànima.

r : 16.00 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:

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

22.71 < 55.46 ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima.

λ_w : 22.71

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

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

λ_{màx} : 55.46

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

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

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

Essent:

f_{ref}: Límit elàstic de referència.

f_y: Límit elàstic.

f_{ref} : 235.00 MPa

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 : 0.006 ✓

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+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VC.

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

V_{Ed} : 2.79 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} : 495.67 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 32.78 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció bruta.

A : 77.30 cm²

d: Alçada de l'ànima.

d : 318.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 14.00 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}**.

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

11.19 kN ≤ 378.78 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·Q5+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 11.19 kN

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

V_{c,Rd} : 757.57 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}**.

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

2.79 kN ≤ 247.83 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+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VC.

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

V_{Ed} : 2.79 kN

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

V_{c,Rd} : 495.67 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 : 0.335 ✓

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

η : 0.586 ✓

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

η : 0.343 ✓

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·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} : 79.26 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}⁺ : 70.18 kN·m

M_{z,Ed}⁺ : 0.13 kN·m

Classe : 1

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.

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

N_{pl,Rd} : 2024.52 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} : 240.43 kN·m
M_{pl,Rd,z} : 37.45 kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta.

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

f_y: Límit elàstic.

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

A : 77.30 cm²
W_{pl,y} : 918.00 cm³
W_{pl,z} : 143.00 cm³
f_y : 275.00 MPa
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} : 1.05

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

K_{zy} : 0.56

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

K_{zz} : 1.05

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} : 0.64

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

C_{zy} : 0.99

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

C_{zz} : 0.97

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

a_{LT} : 1.00

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

b_{LT} : 0.00

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

c_{LT} : 0.77

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

d_{LT} : 0.01

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

e_{LT} : 2.19

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

w_y : 1.25

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

w_z : 1.50

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

n_{pl} : 0.04

Ja que:

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

0.87 > **0.20**

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + (1 - C_{m,y,0}) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

C_{m,y} : 1.00

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

C_{m,z} : 1.00

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right)}}$$

C_{m,LT} : 1.00

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

ε_y : 7.46

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

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

C₁ : 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} : 0.54

λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z.

λ̄_{màx} : 0.72

λ̄_y, **λ̄_z**: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

λ̄_y : 0.26

λ̄_z : 0.72

λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

λ̄_{LT} : 0.87

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

λ̄₀ : 0.87

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} : 733.71 cm³

W_{el,z} : 75.00 cm³

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

N_{cr} : 4147.42 kN

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.
I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_y : 25680.00 cm4
I_t : 122.40 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·Q5+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

11.19 kN ≤ 378.66 kN

On:

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

V_{Ed,z} : 11.19 kN
V_{c,Rd,z} : 757.31 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 : 0.002

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·Q7+0.9·T1+0.9·VA.

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:

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

T_{Rd} : 5.78 kN·m

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

W_T : 38.25 cm³
f_y : 275.00 MPa
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 en el nus N91, per a la combinació d'accions
 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q5+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 11.19 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} : 757.31 kN

On:

V_{pl,Rd}: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.
τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

V_{pl,Rd} : 757.57 kN
τ_{t,Ed} : 0.13 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

W_T : 38.25 cm³
f_y : 275.00 MPa
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 : 0.006

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·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VC.

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

V_{Ed} : 2.79 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} : 495.40 kN

On:

V_{pl,Rd}: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.
τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

V_{pl,Rd} : 495.67 kN
τ_{t,Ed} : 0.21 MPa

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

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

f_y: Límit elàstic.

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

W_T : 38.25 cm³

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : 1.05

PILAR P9

Perfil: UPN 350, Doble en I unió genèrica (Separació entre els perfils: 160.0 / 160.0 mm i Enllaç a distància màxima) 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)		
N9	N10	2.549	154.60	25680.00	17861.54	122.40		
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		1.52	1.00	1.00	1.00			
L _K		3.880	2.550	2.549	2.549			
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:

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

22.71 ≤ 382.14 ✓

On:

h_w: Cantell de l'ànima

t_w: Gruix de l'ànima.

A_w: Àrea de l'ànima.

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

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

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

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

 Essent:

 $f_{yf} = f_y$

h_w : 318.00 mm

t_w : 14.00 mm

A_w : 44.52 cm²

A_{fc} : 16.00 cm²

k : 0.30

E : 210000 MPa

f_{yf} : 275.00 MPa

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

S'ha de satisfer:

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

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N9, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VC.

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

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

N_{Ed} : 9.13 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} : 2024.52 kN

On:

A: Àrea de la secció transversal.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

A : 77.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
γ_{M0} : 1.05

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \underline{0.043} \quad \checkmark$$

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N9, 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·VC+0.75·N1.

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

N_{c,Ed} : 87.54 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} : 2024.52 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.
A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

Classe : 1

A : 77.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
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.

λ̄: Esveltesa reduïda.

$$\bar{\lambda} : \underline{0.69}$$

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

N_{c,Ed}/**N_{cr}**: Relació d'axials.

N_{c,Ed}/**N_{cr}** : 0.020

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
f_y: Límit elàstic.
N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.
 La tensió crítica elàstica de vinclament σ_{cr} és el valor de la menor de les arrels de la següent equació cúbica:

A : 77.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
N_{cr} : 4488.03 kN

$$i_0^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,T}) - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,z}) \cdot \gamma_0^2 - \sigma_{cr}^2 \cdot (\sigma_{cr} - \sigma_{cr,y}) \cdot Z_0^2 = 0$$

σ_{cr} : 580.60 MPa

On:

σ_{cr,y}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Y.
σ_{cr,z}: Tensió crítica elàstica de vinclament per flexió de la secció composta, al voltant de l'eix Z.
σ_{cr,T}: Tensió crítica elàstica de vinclament per torsió de la secció composta.
I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.
I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z.
I_t: Mòdul de torsió uniforme
I_w: Constant de guerxesa de la secció.
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.
G: Mòdul d'elasticitat transversal.
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_z: Esveltesa mecànica de la secció composta, respecte a l'eix Z, calculada tenint en compte el tipus d'enllaços i la seva separació.
L_{kt}: Longitud eficaç de vindament per torsió.
i_o: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.

σ_{cr,y} : 5294.49 MPa
σ_{cr,z} : 580.60 MPa
σ_{cr,T} : ∞
I_y : 25680.00 cm4
I_z : 17861.54 cm4
I_t : 122.40 cm4
I_w : 0.00 cm6
E : 210000 MPa
G : 81000 MPa
λ_y : 19.8
λ_z : 59.7
L_{kt} : 0.000 m
i_o : 16.78 cm

$$i_o = \left(i_y^2 + i_z^2 + \gamma_0^2 + Z_0^2 \right)^{0.5}$$

Essent:

i_y , **i_z**: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z.
γ_o , **z_o**: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.

i_y : 12.89 cm
i_z : 10.75 cm
γ_o : 0.00 mm
z_o : 0.00 mm

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

S'ha de satisfer:

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

$$\eta : \underline{0.300} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.517} \quad \checkmark$$

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N10, 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}⁺ : 72.15 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:

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

		M_{c,Rd} :	<u>240.43</u>	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 :	<u>1</u>	
	W_{pl,y} : Mòdul resistent plàstic de la secció.	W_{pl,y} :	<u>918.00</u>	cm³
		f_y :	<u>275.00</u>	MPa
	f_y : Límit elàstic.	γ_{m0} :	<u>1.05</u>	
	γ_{m0} : Coeficient parcial de seguretat del material.			

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

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

M_{b,Rd} = $\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$	M_{b,Rd} :	<u>139.52</u>	kN·m
On:			
	W_{pl,y} : Mòdul resistent plàstic de la secció.	W_{pl,y} :	<u>918.00</u> cm³
		f_y :	<u>275.00</u> MPa
	γ_{m1} : Coeficient parcial de seguretat del material.	γ_{m1} :	<u>1.05</u>

χ_{LT}: Factor de reducció per vinclament lateral.

$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$	χ_{LT} :	<u>0.58</u>
Essent:		
$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot \left(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2 \right) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$	φ_{LT} :	<u>1.05</u>
α_{LT} : Coeficient d'imperfecció elàstica.	α_{LT} :	<u>0.76</u>
$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$	λ̄_{LT} :	<u>0.80</u>
M_{cr} : Moment crític elàstic de vinclament lateral.	M_{cr} :	<u>395.39</u> kN·m

El moment crític elàstic de vinclament lateral 'M_{cr}' es determina de la següent forma:

$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right)^2 \right]^{0.5} - \left(C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j \right) \right\}$	I_z :	<u>570.00</u>	cm4
Essent:	I_t :	<u>61.20</u>	cm4
I_z : Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z.	I_w :	<u>114000.00</u>	cm6
I_t : Mòdul de torsió uniforme	E :	<u>210000</u>	MPa
I_w : Constant de guerxament.	G :	<u>81000</u>	MPa
E : Mòdul d'elasticitat longitudinal.	L_c⁺ :	<u>2.549</u>	m
G : Mòdul d'elasticitat transversal.	L_c⁻ :	<u>2.549</u>	m
L_c⁺ : Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala superior.	C₁ :	<u>1.00</u>	
L_c⁻ : Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala inferior.	C₂ :	<u>1.00</u>	
C₁ : Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.			
C₂ : Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.			

C₃ : Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems,	C₃ :	<u>1.00</u>
k_z : Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al gir de la secció transversal en els extrems de la barra.	k_z :	<u>0.66</u>
k_w : Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al balcament en els extrems de la barra.	k_w :	<u>0.66</u>
z_g : Distància entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre d'esforços tallants, respecte a l'eix Z.	z_g :	<u>0.00</u> mm
z_g = z _a - z _s		
Essent:		
z_a : Distància en la direcció de l'eix Z entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre geomètric.	z_a :	<u>0.00</u> mm
z_s : Distància en la direcció de l'eix Z entre el centre d'esforços tallants i el centre geomètric.	z_s :	<u>0.00</u> mm
z_j : Paràmetre d'asimetria de la secció, respecte a l'eix Y.	z_j :	<u>0.00</u> mm

$$z_j = z_s - 0.5 \cdot \int_A \left(y^2 + z^2 \right) \cdot \left(z / I_y \right) \cdot dA$$

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 :	<u>0.006</u> 
---	------------	--

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N9, 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·VC.

M_{Ed}⁺ : Valor de càlcul del moment flector.	M_{Ed}⁺ :	<u>0.21</u> kN·m
---	-------------------------------------	------------------

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N9, 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·VD+0.75·N1.

M_{Ed}⁻ : Valor de càlcul del moment flector.	M_{Ed}⁻ :	<u>0.13</u> kN·m
---	-------------------------------------	------------------

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

M_{c,Rd} = $\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$	M_{c,Rd} :	<u>37.45</u> 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 :	<u>1</u>
W_{pl,z} : Mòdul resistent plàstic de la secció.	W_{pl,z} :	<u>143.00</u> cm³
	f_y :	<u>275.00</u> MPa
γ_{m0} : Coeficient parcial de seguretat del material.	γ_{m0} :	<u>1.05</u>

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 : 0.013 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N9, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q5+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 9.48 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} : 757.57 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 50.10 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció transversal.

A : 77.30 cm²

b: Ample total de la secció.

b : 100.00 mm

t_f: Espessor de l'ala.

t_f : 16.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 14.00 mm

r: Radi d'acord entre ala i ànima.

r : 16.00 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:

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

22.71 < **55.46** ✓

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima.

λ_w : 22.71

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

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

λ_{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 : 0.005 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N9, 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·VC.

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

V_{Ed} : 2.29 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} : 495.67 kN

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

A_v : 32.78 cm²

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

Essent:

A: Àrea de la secció bruta.

A : 77.30 cm²

d: Alçada de l'ànima.

d : 318.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.

t_w : 14.00 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 forca 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}**.

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

9.48 kN ≤ **378.78 kN** ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produeixen per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q5+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

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

V_{Ed} : 9.48 kN

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

V_{c,Rd} : 757.57 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}**.

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

2.29 kN ≤ 247.83 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·VC.

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

V_{Ed} : 2.29 kN

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

V_{c,Rd} : 495.67 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 : 0.338 ✓

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

η : 0.556 ✓

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

η : 0.324 ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N10, 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.

On:

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

N_{c,Ed} : 72.81 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}⁺ : 72.15 kN·m

M_{z,Ed}⁺ : 0.09 kN·m

Classe : 1

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.

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

N_{pl,Rd} : 2024.52 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} : 240.43 kN·m

M_{pl,Rd,z} : 37.45 kN·m

Resistència a vinclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta.

A : 77.30 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} : 918.00 cm³

W_{pl,z} : 143.00 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} : 0.95

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

K_{zy} : 0.55

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

K_{zz} : 1.04

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} : 0.71

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

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} : 0.97

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

a_{LT} : 1.00

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_{\phi 0}^{-2} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

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

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

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

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

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

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

Ja que:

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

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0}\right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

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

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

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

C₁: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

χ_y, **χ_z**: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional.

λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z.

λ̄_y, **λ̄_z**: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

λ̄₀: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme.

W_{el,y}, **W_{el,z}**: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

$$b_{LT} : \quad 0.00$$

$$c_{LT} : \quad 0.63$$

$$d_{LT} : \quad 0.01$$

$$e_{LT} : \quad 2.16$$

$$w_y : \quad 1.25$$

$$w_z : \quad 1.50$$

$$n_{pl} : \quad 0.04$$

$$0.80 > 0.20$$

$$C_{m,y} : \quad 1.00$$

$$C_{m,z} : \quad 1.00$$

$$C_{m,LT} : \quad 1.00$$

$$\varepsilon_y : \quad 8.34$$

$$C_{m,y,0} : \quad 1.00$$

$$C_{m,z,0} : \quad 1.00$$

$$C_1 : \quad 1.00$$

$$\chi_y : \quad 1.00$$

$$\chi_z : \quad 1.00$$

$$\chi_{LT} : \quad 0.58$$

$$\bar{\lambda}_{màx} : \quad 0.69$$

$$\bar{\lambda}_y : \quad 0.23$$

$$\bar{\lambda}_z : \quad 0.69$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \quad 0.80$$

$$\bar{\lambda}_0 : \quad 0.80$$

$$W_{el,y} : \quad 733.71 \quad \text{cm}^3$$

$$W_{el,z} : \quad 75.00 \quad \text{cm}^3$$

$$N_{cr} : \quad 4488.03 \quad \text{kN}$$

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.

I_t: Mòdul de torsió uniforme

$$I_y : \quad 25680.00 \quad \text{cm}^4$$

$$I_t : \quad 122.40 \quad \text{cm}^4$$

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·Q5+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$9.48 \text{ kN} \leq 378.68 \text{ kN} \quad \checkmark$$

On:

V_{Ed,z}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

$$V_{Ed,z} : \quad 9.48 \quad \text{kN}$$

V_{c,Rd,z}: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant.

$$V_{c,Rd,z} : \quad 757.36 \quad \text{kN}$$

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\eta : \quad 0.002 \quad \checkmark$$

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·Q7+0.9·T1+0.9·VA.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals.

$$T_{Ed} : \quad 0.01 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

El moment torçor resistent de càlcul **T_{Rd}** ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$T_{Rd} : \quad 5.78 \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

$$W_T : \quad 38.25 \quad \text{cm}^3$$

f_y: Límit elàstic.

$$f_y : \quad 275.00 \quad \text{MPa}$$

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

$$\gamma_{M0} : \quad 1.05$$

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N9, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q2+1.5·Q5+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

V_{Ed} : 9.48 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} : 757.36 kN

On:

V_{pl,Rd}: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.

V_{pl,Rd} : 757.57 kN

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

τ_{t,Ed} : 0.10 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{T_{Ed}}{W_t}$$

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

W_T : 38.25 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 : 0.005

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N9, 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·VC.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

V_{Ed} : 2.29 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} : 495.41 kN

On:

V_{pl,Rd}: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.

V_{pl,Rd} : 495.67 kN

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

τ_{t,Ed} : 0.19 MPa

$$\tau_{T,Ed} = \frac{T_{Ed}}{W_t}$$

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

W_T : 38.25 cm³

f_y: Límit elàstic.

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

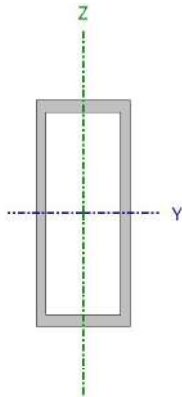
γ_{M0} : 1.05

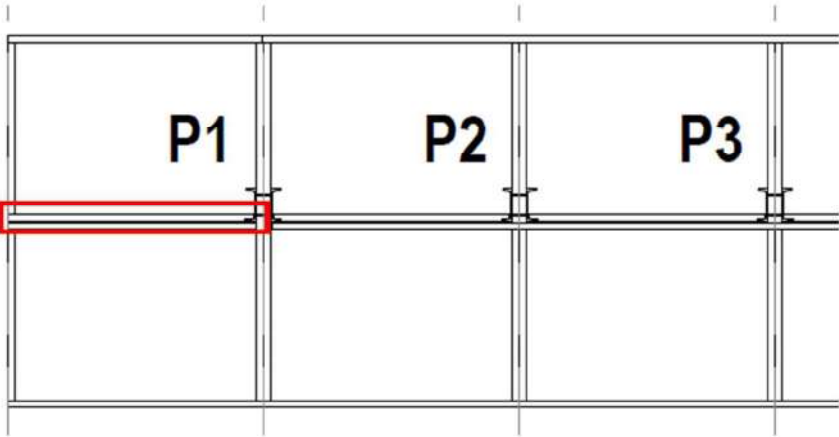
1. RESULTATS

1.1. Barres

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: 200x83-9-11 Material: Acer (S275 (UNE-EN 10025-2))							
	Nusos		Longitud (m)	Característiques mecàniques			
	Inicial	Final		Àrea (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N89	N2	2.750	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	0.82	0.82	0.00		1.00	
	L _k	2.250	2.250	0.000		2.750	
	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:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

19.78 ≤ 429.16 ✓

On:
 h_w: Cantell de l'ànima

h_w : 178.00 mm

t_w: Gruix de l'ànima.
 A_w: Àrea de l'ànima.
 A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida.
 k: Coeficient que depèn de la classe de la secció.
 E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.
 f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida.
 Essent:
 f_{yf} = f_y

t _w :	9.00	mm
A _w :	32.04	cm²
A _{fc} :	9.13	cm²
k :	0.30	
E :	210000	MPa
f _{yf} :	275.00	MPa

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.285 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 2.259 m del nus N89, per a la combinació d'accions 0.8·PP+1.35·CM1+1.05·Q3+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} : 375.81 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.
 f_y: Límit elàstic.
 γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

A :	50.30	cm²
f _y :	275.00	MPa
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 : 0.589 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.878 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 2.259 m del nus N89, per a la combinació d'accions 1.35·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VA.

N_{c,Ed}: Valor de càlcul de la força de compressió.

N_{c,Ed} : 775.43 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.
A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

Classe : 1

A : 50.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
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} : 883.14 kN

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material.

A : 50.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Essent:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α: Coeficient d'imperfecció.

χ_y : 0.91
χ_z : 0.67
χ_T : 1.00

φ_y : 0.61
φ_z : 0.95
φ_T : 0.48

α_y : 0.49
α_z : 0.49
α_T : 0.49

λ̄: Esveltesa reduïda.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

λ̄_y : 0.37
λ̄_z : 0.79
λ̄_T : 0.08
N_{cr} : 2233.79 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.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

N_{cr,y} : 10146.99 kN

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

N_{cr,z} : 2233.79 kN

c) Axial crític elàstic de vinclament per torsió.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

N_{cr,T} : 191685.82 kN

On:

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.
I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z.
I_t: Mòdul de torsió uniforme
I_w: Constant de guernessa de la secció.
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.
G: Mòdul d'elasticitat transversal.
L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y.
L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z.
L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió.
i₀: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.

I_y : 2478.47 cm⁴
I_z : 545.62 cm⁴
I_t : 1422.76 cm⁴
I_w : 0.00 cm⁶
E : 210000 MPa
G : 81000 MPa

L_{ky} : 2.250 m

L_{kz} : 2.250 m

L_{kt} : 2.750 m

i₀ : 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.
y₀ , **z₀**: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.

i_y : 7.02 cm
i_z : 3.29 cm
y₀ : 0.00 mm
z₀ : 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 : 0.135 ✓

Per flexió positiva:

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·Q5+1.5·T1+0.9·V3+0.9·VC.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁺ : 0.99 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·Q1+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁻ : 11.10 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **M_{c,Rd}** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$$

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.

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

f_y: Límit elàstic.

γ_{mo}: Coeficient parcial de seguretat del material.

Resistència a vinclament lateral: (Codi Estructural, Article 6.3.2)

Si l'esveltesa $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$ o la relació $M_{Ed} / M_{cr} \leq 0.16$ es pot ignorar l'efecte del vinclament, i comprovar únicament la resistència de la secció transversal.

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esveltesa reduïda.

$$\bar{\lambda}_{LT}^{+} = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^{+} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT}^{-} = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^{-} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

M_{Ed} / M_{cr}: Relació de moments.

On:

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

f_y: Límit elàstic.

M_{cr}: Moment crític elàstic de vinclament lateral.

El moment crític elàstic de vinclament lateral 'M_{cr}' es determina de la següent forma:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_c^2} \cdot \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_c^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2 \right]^{0.5} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right\}$$

Essent:

- I_z:** Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z.
- I_t:** Mòdul de torsió uniforme
- I_w:** Constant de guexament.
- E:** Mòdul d'elasticitat longitudinal.
- G:** Mòdul d'elasticitat transversal.
- L_c⁺:** Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala superior.
- L_c⁻:** Longitud efectiva de vinclament lateral de l'ala inferior.
- C₁:** Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.
- C₂:** Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.
- C₃:** Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.
- k_z:** Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al gir de la secció transversal en els extrems de la barra.
- k_w:** Coeficient de longitud eficaç, que depèn de les restriccions al balcament en els extrems de la barra.
- z_g:** Distància entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre d'esforços tallants, respecte a l'eix Z.

M_{c,Rd} : 82.54 kN·m

Classe : 1

W_{pl,y} : 315.14 cm³

f_y : 275.00 MPa

γ_{mo} : 1.05

$\bar{\lambda}_{LT}^{+}$:

0.00

$\bar{\lambda}_{LT}^{-}$:

0.26

M_{Ed}⁺ / M_{cr}⁺ : 0.000

M_{Ed}⁻ / M_{cr}⁻ : 0.008

W_{pl,y} : 315.14 cm³

f_y : 275.00 MPa

M_{cr}⁺ : ∞

M_{cr}⁻ : 1312.74 kN·m

I_z : 545.62 cm4

I_t : 1422.76 cm4

I_w : 0.00 cm6

E : 210000 MPa

G : 81000 MPa

L_c⁺ : 0.000 m

L_c⁻ : 2.750 m

C₁ : 1.00

C₂ : 1.00

C₃ : 1.00

k_z⁺ : 0.00

k_z⁻ : 1.00

k_w⁺ : 0.00

k_w⁻ : 1.00

z_g : 0.00 mm

z_g = z_a - z_s

Essent:

z_a: Distància en la direcció de l'eix Z entre el punt d'aplicació de la càrrega i el centre geomètric.

z_a : 0.00 mm

z_s: Distància en la direcció de l'eix Z entre el centre d'esforços tallants i el centre geomètric.

z_s : 0.00 mm

z_j: Paràmetre d'asimetria de la secció, respecte a l'eix Y.

z_j : 0.00 mm

z_j = z_s - 0.5 · ∫_A (y² + z²) · (z/I_y) · dA

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 : 0.004 ✓

Per flexió positiva:

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+1.5·Q7+0.9·T1+0.9·V3+0.9·VA.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁺ : 0.04 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·Q1+1.5·Q6+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁻ : 0.16 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **M_{c,Rd}** ve donat per:

M_{c,Rd} = $\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

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_{mo}: Coeficient parcial de seguretat del material.

γ_{mo} : 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 : 0.039 ✓

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·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : 18.87 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 · d · 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
$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{màx}: Esveltesa màxima. **λ_{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 : 0.002 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N89, per a la combinació d'accions 1.35·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}** : 0.64 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 · d · 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
$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{màx}: Esveltesa màxima. **λ_{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}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$
3.07 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·Q5+0.9·T1+0.9·V3+0.9·VD.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.
V_{Ed} : 3.07 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}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$
0.64 kN ≤ 138.06 kN

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N89, per a la combinació d'accions 1.35·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} : 0.64 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:

$$\eta = \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd,y}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd,z}} \right]^\beta \leq 1$$
η : 0.003

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$
η : 0.708

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$
η : 0.917

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} : 773.78 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} : 5.10 kN·m
M_{z,Ed} : 0.05 kN·m
Classe: 1

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.

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} : 45.41 kN·m
M_{N,Rd,z} : 19.71 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 : 2.721
β : 2.721

Essent:

n = N_{c,Ed}/N_{pl,Rd}
n : 0.587

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 · b · t_r)/A ≤ 0.5
a_w : 0.50

a_f = (A – 2 · h · t_w)/A ≤ 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_r: Espessor de l'ala.
t_r : 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} : 1.04

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_z}{W_y}}$$
K_{yz} : 1.08

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{W_y}{W_z}}$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2}}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^{-2} - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^{-2} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

$$K_{zy} : \quad 0.63$$

$$K_{zz} : \quad 1.29$$

$$\mu_y : \quad 0.99$$

$$\mu_z : \quad 0.85$$

$$C_{yy} : \quad 1.04$$

$$C_{yz} : \quad 0.82$$

$$C_{zy} : \quad 0.90$$

$$C_{zz} : \quad 1.01$$

$$a_{LT} : \quad 0.43$$

$$b_{LT} : \quad 0.00$$

$$c_{LT} : \quad 0.00$$

$$d_{LT} : \quad 0.00$$

$$e_{LT} : \quad 0.02$$

$$w_y : \quad 1.27$$

$$w_z : \quad 1.19$$

$$n_{pl} : \quad 0.59$$

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 > 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)}$$

$$C_{m,y} = C_{m,y,0} + \left(1 - C_{m,y,0} \right) \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} \cdot a_{LT}}$$

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$

$$C_{m,LT} = C_{m,y}^2 \cdot \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right)}}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \cdot \frac{A}{W_{el,y}}$$

C_{m,y,0}, **C_{m,z,0}**: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent.

C₁: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

χ_y, **χ_z**: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional.

λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z.

λ̄_y, **λ̄_z**: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

λ̄₀: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme.

W_{el,y}, **W_{el,z}**: Mòduls resistent elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

N_{cr,y}: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y.

N_{cr,z}: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z.

N_{cr,T}: Esforç axial crític elàstic per vinclament per torsió.

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.

I_t: Mòdul de torsió uniforme

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·Q5+0.9·T1+0.9·V3+0.9·VD.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

On:

V_{Ed,z}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

$$0.26 > 0.18$$

$$C_{m,y} : \quad 1.00$$

$$C_{m,z} : \quad 1.00$$

$$C_{m,LT} : \quad 1.00$$

$$\varepsilon_y : \quad 0.11$$

$$C_{m,y,0} : \quad 1.00$$

$$C_{m,z,0} : \quad 1.00$$

$$C_1 : \quad 1.00$$

$$\chi_y : \quad 0.91$$

$$\chi_z : \quad 0.67$$

$$\chi_{LT} : \quad 1.00$$

$$\bar{\lambda}_{m\grave{a}x} : \quad 0.79$$

$$\bar{\lambda}_y : \quad 0.37$$

$$\bar{\lambda}_z : \quad 0.79$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \quad 0.26$$

$$\bar{\lambda}_0 : \quad 0.26$$

$$W_{el,y} : \quad 247.85 \quad \text{cm}^3$$

$$W_{el,z} : \quad 131.47 \quad \text{cm}^3$$

$$N_{cr,y} : \quad 10146.99 \quad \text{kN}$$

$$N_{cr,z} : \quad 2233.79 \quad \text{kN}$$

$$N_{cr,T} : \quad 191685.82 \quad \text{kN}$$

$$I_y : \quad 2478.47 \quad \text{cm}^4$$

$$I_t : \quad 1422.76 \quad \text{cm}^4$$

$$3.07 \text{ kN} \leq 241.97 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$V_{Ed,z} : \quad 3.07 \quad \text{kN}$$

V_{c,Rd,z}: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant. **V_{c,Rd,z}** : 483.93 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 : 0.040 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 2.259 m del nus N89, 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.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : 1.54 kN·m

El moment torçor resistent de càlcul **T_{Rd}** ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

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 : 0.040 ✓

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·Q4+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant. **V_{Ed}** : 18.87 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : 0.73 kN·m
L'esforç tallant resistent de càlcul reduït **V_{pl,T,Rd}** ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}\right] V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 475.13 kN

On:
V_{pl,Rd}: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. **V_{pl,Rd}** : 484.48 kN
τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió. **τ_{t,Ed}** : 2.92 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 : 0.002 ✓

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en el nus N89, per a la combinació d'accions 1.35·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}** : 0.64 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals. **T_{Ed}** : 0.26 kN·m
L'esforç tallant resistent de càlcul reduït **V_{pl,T,Rd}** ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}\right] V_{pl,Rd}$$

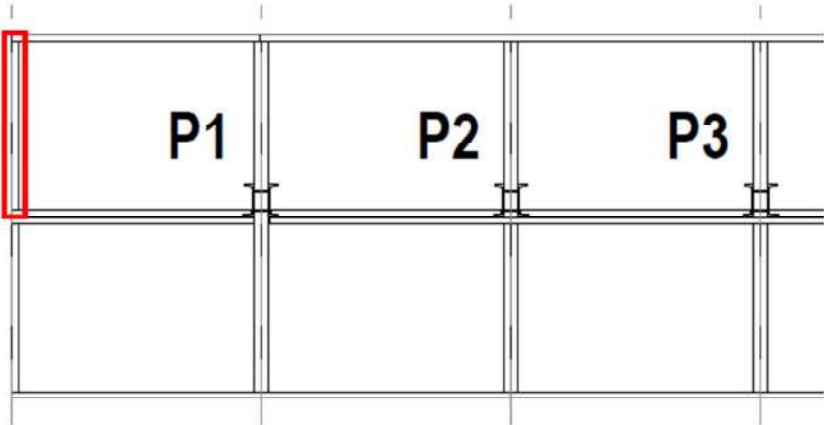
V_{pl,T,Rd} : 274.59 kN

On:
V_{pl,Rd}: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant. **V_{pl,Rd}** : 276.11 kN
τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió. **τ_{t,Ed}** : 0.83 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			Característiques mecàniques				
Inicial	Final	Longitud (m)	Àrea (cm²)	I _y ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm⁴)	
N89	N88	2.110	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			1.02	1.02	0.00	0.00	
L _k			2.150	2.150	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:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

19.78 ≤ 429.16 ✓

On:

- h_w: Cantell de l'ànima
 - t_w: Gruix de l'ànima.
 - A_w: Àrea de l'ànima.
 - A_{fc}: Àrea eficaç de l'ala comprimida.
 - k: Coeficient que depèn de la classe de la secció.
 - E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.
 - f_{yf}: Límit elàstic de l'acer de l'ala comprimida.
- Essent:

- h_w: 178.00 mm
- t_w: 9.00 mm
- A_w: 32.04 cm²
- A_{fc}: 9.13 cm²
- k: 0.30
- E: 210000 MPa
- f_{yf}: 275.00 MPa

$$f_{yf} = f_y$$

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)
S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.274 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.493 m del nus N89, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T2+0.9·V4+0.9·VA.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció. N_{Ed} : 361.33 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.
- f_y: Límit elàstic.
- γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

- A : 50.30 cm²
- f_y : 275.00 MPa
- 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 : 0.572 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.827 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 0.493 m del nus N89, 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·VB+0.75·N1.

N_{c,Ed}: Valor de càlcul de la força de compressió. N_{c,Ed} : 753.92 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} : 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.
A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

Classe :
1

A : 50.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
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:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material.

N_{b,Rd} : 912.05 kN

A : 50.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Essent:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α: Coeficient d'imperfecció.

λ̄: Esveltesa reduïda.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

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.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axial crític elàstic de vinclament per flexió respecte a l'eix Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axial crític elàstic de vinclament per torsió.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

On:

χ_y : 0.92

χ_z : 0.69

φ_y : 0.60

φ_z : 0.92

α_y : 0.49

α_z : 0.49

λ̄_y : 0.35

λ̄_z : 0.75

N_{cr} : 2446.42 kN

N_{cr,y} : 11112.85 kN

N_{cr,z} : 2446.42 kN

N_{cr,T} : ∞

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.

I_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z.

I_t: Mòdul de torsió uniforme

I_w: Constant de guexesa de la secció.

E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.

G: Mòdul d'elasticitat transversal.

L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y.

L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z.

L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió.

i₀: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.

$$i_0 = \left(i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z.

y₀ , z₀: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.

I_y : 2478.47 cm4

I_z : 545.62 cm4

I_t : 1422.76 cm4

I_w : 0.00 cm6

E : 210000 MPa

G : 81000 MPa

L_{ky} : 2.150 m

L_{kz} : 2.150 m

L_{kt} : 0.000 m

i₀ : 7.75 cm

i_y : 7.02 cm

i_z : 3.29 cm

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 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 : 0.054 ✓

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N89, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q5+0.9·T2+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁺ : 4.43 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N89, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q4+0.9·T1+1.5·V3+1.5·VA.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁻ : 0.74 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **M_{c,Rd}** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

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.

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

Classe : 1

W_{pl,y} : 315.14 cm³

f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

f_y : 275.00 MPa
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 : 0.100 ✓

Per flexió positiva:
 L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N89, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q6+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VB.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁺ : 4.09 kN·m

Per flexió negativa:
 L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N89, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q7+1.5·T2+0.9·V2+0.9·VA.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁻ : 1.97 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.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

f_y : 275.00 MPa
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 : 0.013 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.363 m del nus N89, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

V_{Ed} : 6.51 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.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

f_y : 275.00 MPa
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

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

λ_{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:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N89, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VB.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

L'esforç tallant resistent de càlcul **V_{c,Rd}** ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}$$

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Essent:

A: Àrea de la secció bruta.

d: Alçada de l'ànima.

t_w: Gruix de l'ànima.

f_y: Límit elàstic.

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

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:

$$\frac{b}{t_f} < \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

On:

λ_w: Esveltesa de l'ànima.

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material.

ε: Factor de reducció.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Essent:

f_{ref}: Límit elàstic de referència.

f_y: Límit elàstic.

η : 0.106 ✓

V_{Ed} : 29.28 kN

V_{c,Rd} : 276.11 kN

A_v : 18.26 cm²

A : 50.30 cm²

d : 178.00 mm

t_w : 9.00 mm

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : 1.05

7.55 < **55.46** ✓

λ_w : 7.55

λ_{màx} : 55.46

η : 1.20

ε : 0.92

f_{ref} : 235.00 MPa

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}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

3.90 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·Q4+0.9·T2+1.5·V1+1.5·VA+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

V_{Ed} : 3.90 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}**.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

29.28 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·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VB.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

V_{Ed} : 29.28 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 : 0.018 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : 0.698 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

η : 0.896 ✓

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·Q5+1.5·T1+0.9·V2+0.9·VB+0.75·N1.

On:

N_{c,Ed}: Valor de càlcul de la força de compressió.

M_{y,Ed}, **M_{z,Ed}**: Valors de càlcul dels moments sol·licitants pèssims, segons els eixos Y i Z, respectivament.

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.

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.

$$M_{N,Rd,y} = M_{pl,Rd,y} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_w) \leq M_{pl,Rd,y}$$

$$M_{N,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a_f) \leq M_{pl,Rd,z}$$

$$\alpha = \beta = \frac{1.66}{1 - 1.13 \cdot n^2} \leq 6$$

Essent:

$$n = N_{c,Ed} / N_{pl,Rd}$$

N_{pl,Rd}: Resistència a compressió de la secció bruta.

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.

$$a_w = (A - 2 \cdot b \cdot t_f) / A \leq 0.5$$

$$a_f = (A - 2 \cdot h \cdot t_w) / A \leq 0.5$$

A: Àrea de la secció bruta.

b: Ample total de la secció.

h: Cantell de la secció.

t_f: Espessor de l'ala.

t_w: Gruix de l'ànima.

Resistència a vïnclament: (Codi Estructural, Article 6.3.3)

A: Àrea de la secció bruta.

W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Mòduls resistents plàstics corresponents a la fibra amb major tensió, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

f_y: Límit elàstic.

γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material.

K_{yy}, **K_{yz}**, **K_{zy}**, **K_{zz}**: Coeficients d'interacció.

$$k_{yy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{yy}}$$

$$k_{yz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{yz}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$$

$$k_{zy} = C_{m,y} \cdot C_{m,LT} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \cdot \frac{1}{C_{zy}} \cdot 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$$

$$N_{c,Ed} : \frac{681.66}{} \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}^{\dagger} : \frac{3.66}{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^{\dagger} : \frac{4.07}{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Classe : \frac{1}{}$$

$$M_{N,Rd,y} : \frac{53.10}{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,Rd,z} : \frac{23.05}{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\alpha : \frac{2.380}{}$$

$$\beta : \frac{2.380}{}$$

$$n : \frac{0.517}{}$$

$$N_{pl,Rd} : \frac{1317.38}{} \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : \frac{82.54}{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \frac{40.97}{} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$a_w : \frac{0.50}{}$$

$$a_f : \frac{0.28}{}$$

$$A : \frac{50.30}{} \text{ cm}^2$$

$$b : \frac{8.30}{} \text{ cm}$$

$$h : \frac{200.00}{} \text{ mm}$$

$$t_f : \frac{11.00}{} \text{ mm}$$

$$t_w : \frac{9.00}{} \text{ mm}$$

$$A : \frac{50.30}{} \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : \frac{315.14}{} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \frac{156.44}{} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \frac{275.00}{} \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} : \frac{1.05}{}$$

$$K_{yy} : \frac{1.01}{}$$

$$K_{yz} : \frac{0.92}{}$$

$$k_{zz} = C_{m,z} \cdot \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \cdot \frac{1}{C_{zz}}$$

Termes auxiliars:

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 \right) \cdot n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) \cdot n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \cdot \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \cdot \left[\left(2 - 14 \cdot \frac{C_{my}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) \cdot n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0.6 \cdot \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \cdot \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \cdot \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_z} \cdot C_{mz}^2 \cdot \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{LT} \right) \cdot n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} \geq 0$$

$$b_{LT} = 0.5 \cdot a_{LT} \cdot \bar{\lambda}_0^{-2} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}}$$

$$c_{LT} = 10 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

$$d_{LT} = 2 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{C_{m,z} \cdot M_{pl,Rd,z}}$$

$$e_{LT} = 1.7 \cdot a_{LT} \cdot \frac{\bar{\lambda}_0}{0.1 + \bar{\lambda}_z^{-4}} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{C_{m,y} \cdot \chi_{LT} \cdot M_{pl,Rd,y}}$$

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1.5$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1.5$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

$$K_{zy} : \frac{0.62}{}$$

$$K_{zz} : \frac{1.21}{}$$

$$\mu_y : \frac{0.99}{}$$

$$\mu_z : \frac{0.89}{}$$

$$C_{yy} : \frac{1.05}{}$$

$$C_{yz} : \frac{0.87}{}$$

$$C_{zy} : \frac{0.95}{}$$

$$C_{zz} : \frac{1.02}{}$$

$$a_{LT} : \frac{0.43}{}$$

$$b_{LT} : \frac{0.00}{}$$

$$c_{LT} : \frac{0.00}{}$$

$$d_{LT} : \frac{0.00}{}$$

$$e_{LT} : \frac{0.00}{}$$

$$w_y : \frac{1.27}{}$$

$$w_z : \frac{1.19}{}$$

$$n_{pl} : \frac{0.52}{}$$

Ja que:

$$\bar{\lambda}_0 \leq 0.2 \cdot \sqrt{C_1} \cdot \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$$

$$C_{m,y} = C_{m,y,0}$$

$$C_{m,z} = C_{m,z,0}$$

$$C_{m,LT} = 1.00$$

C_{m,y,0}, C_{m,z,0}: Coeficients per a l'obtenció de la distribució uniforme del moment equivalent.

C₁: Coeficient que depèn de la càrrega i de les condicions de vinculació dels extrems.

χ_y, χ_z: Coeficients de reducció per vinclament, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

χ_{LT}: Coeficient de reducció per a vinclament lateral torsional.

λ̄_{màx}: Esveltesa màxima entre λ̄_y y λ̄_z.

λ̄_y, λ̄_z: Esvelteses reduïdes en relació als eixos I i Z, respectivament.

λ̄_{LT}: Esveltesa adimensional de vinclament lateral.

λ̄₀: Esveltesa adimensional de vinclament lateral quan actua un moment uniforme.

W_{el,y}, W_{el,z}: Mòduls resistents elàstics corresponents a la fibra comprimida, al voltant dels eixos Y i Z, respectivament.

N_{cr,y}: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Y.

N_{cr,z}: Esforç axial crític elàstic per vinclament per flexió al voltant de l'eix Z.

I_y: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Y.

I_t: Mòdul de torsió uniforme

$$0.00 \leq 0.18$$

$$C_{m,y} : 1.00$$

$$C_{m,z} : 1.00$$

$$C_{m,LT} : 1.00$$

$$C_{m,y,0} : 1.00$$

$$C_{m,z,0} : 1.00$$

$$C_1 : 1.00$$

$$\chi_y : 0.92$$

$$\chi_z : 0.69$$

$$\chi_{LT} : 1.00$$

$$\bar{\lambda}_{m\grave{a}x} : 0.75$$

$$\bar{\lambda}_y : 0.35$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.75$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : 0.00$$

$$\bar{\lambda}_0 : 0.00$$

$$W_{el,y} : 247.85 \text{ cm}^3$$

$$W_{el,z} : 131.47 \text{ cm}^3$$

$$N_{cr,y} : 11112.85 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} : 2446.42 \text{ kN}$$

$$I_y : 2478.47 \text{ cm}^4$$

$$I_t : 1422.76 \text{ cm}^4$$

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·VB+0.75·N1.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

On:

V_{Ed,y}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

V_{c,Rd,y}: Valor de càlcul de la resistència a esforç tallant.

$$29.28 \text{ kN} \leq 137.37 \text{ kN} \checkmark$$

$$V_{Ed,y} : 29.28 \text{ kN}$$

$$V_{c,Rd,y} : 274.74 \text{ kN}$$

Resistència a torsió (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\eta : 0.006 \checkmark$$

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·V2+0.9·VB+0.75·N1.

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals.

$$T_{Ed} : 0.23 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El moment torçor resistent de càlcul **T_{Rd}** ve donat per:

$$T_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} W_T \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$T_{Rd} : 38.07 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

On:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

$$W_T : 251.75 \text{ cm}^3$$

f_y: Límit elàstic.

$$f_y : 275.00 \text{ MPa}$$

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

$$\gamma_{M0} : 1.05$$

Resistència a tallant Z i moment de torsió combinats (Codi Estructural, Article A22.6.2.7)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : 0.014 \checkmark$$

Els esforços sol·licitants de càlcul pèssims es produïxen en un punt situat a una distància de 1.363 m del nus N89, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1+1.5·Q6+0.9·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

$$V_{Ed} : 6.51 \text{ kN}$$

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals.

$$T_{Ed} : 0.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït **V_{pl,T,Rd}** ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}\right] V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : 481.73 \text{ kN}$$

On:

V_{pl,Rd}: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.

$$V_{pl,Rd} : 484.48 \text{ kN}$$

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

$$\tau_{t,Ed} : 0.86 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{T_{Ed}}{W_t}$$

Essent:

W_T: Mòdul de resistència a torsió.

$$W_T : 251.75 \text{ cm}^3$$

f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

f_y : 275.00 MPa
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 : 0.106 ✓

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·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V1+0.9·VB+0.75·N1.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

V_{Ed} : 29.28 kN

T_{Ed}: Valor de càlcul dels moments a torsió totals.

T_{Ed} : 0.19 kN·m

L'esforç tallant resistent de càlcul reduït **V_{pl,T,Rd}** ve donat per:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}\right] V_{pl,Rd}$$

V_{pl,T,Rd} : 274.99 kN

On:

V_{pl,Rd}: Valor de càlcul de la resistència plàstica a tallant.

V_{pl,Rd} : 276.11 kN

τ_{t,Ed}: Tensions tangencials per torsió.

τ_{t,Ed} : 0.62 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.

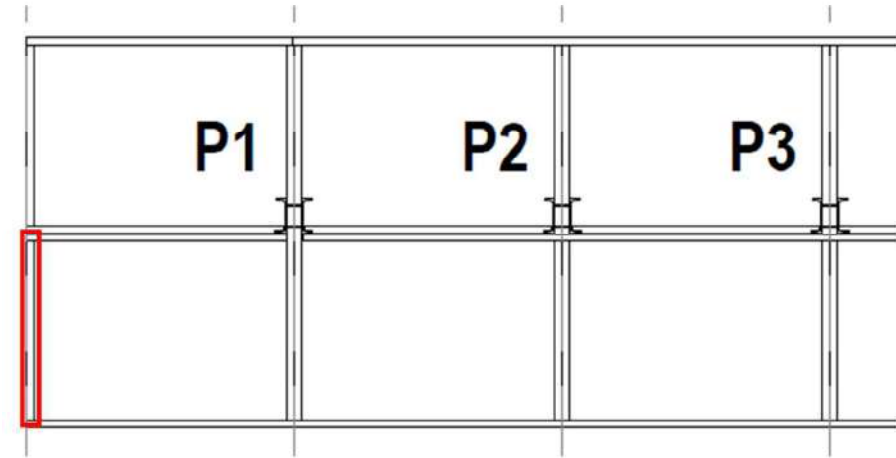
f_y : 275.00 MPa

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)
N90	N89	2.110	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	1.02	1.02	0.00		0.00	
L _k	2.150	2.150	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						



Abonvegament de l'ànima induïda per l'ala comprimida (Codi estructural, Article A25.8)

S'ha de satisfer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \cdot \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

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.
 Essent:
 $f_{yf} = f_y$

f_{yf} : 275.00 MPa

Resistència a tracció (Codi Estructural, Article A22.6.2.3)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.273 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.448 m del nus N90, per a la combinació d'accions 1.35·PP+1.35·CM1+1.05·Q2+1.05·Q7+1.5·T2+0.9·V4+0.9·VA.

N_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç axial de tracció.

N_{Ed} : 359.94 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.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

A : 50.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
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 : 0.570 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.824 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.448 m del nus N90, 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·VB+0.75·N1.

N_{c,Ed}: Valor de càlcul de la força de compressió.

N_{c,Ed} : 751.37 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.
A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

Classe : 1

A : 50.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
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} : 912.05 kN

On:

A: Àrea de la secció bruta per les seccions de classe 1, 2 i 3.
f_y: Límit elàstic.
γ_{M1}: Coeficient parcial de seguretat del material.

A : 50.30 cm²
f_y : 275.00 MPa
γ_{M1} : 1.05

χ: Coeficient de reducció per vinclament.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Essent:

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α: Coeficient d'imperfecció.

λ̄: Esveltesa reduïda.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr}: Axial crític de vinclament elàstic.

χ_y : 0.92

χ_z : 0.69

φ_y : 0.60

φ_z : 0.92

α_y : 0.49

α_z : 0.49

λ̄_y : 0.35

λ̄_z : 0.75

N_{cr} : 2446.42 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} : 11112.85 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} : 2446.42 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_z: Inèrcia a flexió al voltant de l'eix Z.
I_t: Mòdul de torsió uniforme
I_w: Constant de guernessa de la secció.
E: Mòdul d'elasticitat longitudinal.
G: Mòdul d'elasticitat transversal.
L_{ky}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Y.
L_{kz}: Longitud eficaç de vinclament per flexió, respecte l'eix Z.
L_{kt}: Longitud eficaç de vinclament per torsió.
i₀: Radi de gir polar de la secció bruta, respecte al centre de torsió.

$$i_0 = \left(i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2 \right)^{0.5}$$

Essent:

i_y , i_z: Ràdis de gir de la secció bruta, respecte als eixos principals d'inèrcia Y i Z.
y₀ , z₀: Coordenades del centre de torsió en la direcció dels eixos principals Y i Z, respectivament, relatives al centre de gravetat de la secció.

I_y : 2478.47 cm4
I_z : 545.62 cm4
I_t : 1422.76 cm4
I_w : 0.00 cm6
E : 210000 MPa
G : 81000 MPa

L_{ky} : 2.150 m

L_{kz} : 2.150 m

L_{kt} : 0.000 m

i₀ : 7.75 cm

i_y : 7.02 cm

i_z : 3.29 cm

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 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 : 0.049

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx 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+1.5·Q1+1.5·Q4+0.9·T2+0.9·V2+0.9·VA+0.75·N1.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁺ : 4.01 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx en un punt situat a una distància de 1.927 m del nus N90, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q5+0.9·T1+1.5·V4+1.5·VB.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁻ : 0.32 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **M_{c,Rd}** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

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.

W_{pl,y}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

f_y: Límit elàstic.

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

Classe : 1

W_{pl,y} : 315.14 cm³

f_y : 275.00 MPa

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 : 0.098

Per flexió positiva:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N89, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q2+1.05·Q4+1.5·T1+0.9·V4+0.9·VA.

M_{Ed}⁺: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁺ : 4.03 kN·m

Per flexió negativa:

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produeix en el nus N89, per a la combinació d'accions 0.8·PP+0.8·CM1+1.05·Q3+1.05·Q5+1.5·T2+0.9·V2+0.9·VB.

M_{Ed}⁻: Valor de càlcul del moment flector.

M_{Ed}⁻ : 1.96 kN·m

El moment flector resistent de càlcul **M_{c,Rd}** ve donat per:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

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.

W_{pl,z}: Mòdul resistent plàstic de la secció.

f_y: Límit elàstic.

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

Classe : 1

W_{pl,z} : 156.44 cm³

f_y : 275.00 MPa

γ_{M0} : 1.05

Resistència a tall Z
 (Codi Estructural, Article A22.6.2.6)

S'ha de satisfer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx 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.

η : 0.016 ✓

V_{Ed} : 7.61 kN

L'esforç tallant resistent de càlcul **V_{c,Rd}** ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}$$

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Essent:

d: Alçada de l'ànima.

t_w: Gruix de l'ànima.

f_y: Límit elàstic.

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

A_v : 32.04 cm²

d : 178.00 mm

t_w : 9.00 mm

f_y : 275.00 MPa

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.

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material.

ε: Factor de reducció.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Essent:

f_{ref}: Límit elàstic de referència.

f_y: Límit elàstic.

λ_w : 19.78

λ_{màx} : 55.46

η : 1.20

ε : 0.92

f_{ref} : 235.00 MPa

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 : 0.093 ✓

L'esforç sol·licitant de càlcul pèssim es produïx 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·V4+0.9·VA.

V_{Ed}: Valor de càlcul de l'esforç tallant.

V_{Ed} : 25.55 kN

L'esforç tallant resistent de càlcul **V_{c,Rd}** ve donat per:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}}$$

On:

A_v: Àrea transversal a tallant.

$$A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

Essent:

A: Àrea de la secció bruta.

d: Alçada de l'ànima.

t_w: Gruix de l'ànima.

V_{c,Rd} : 276.11 kN

A_v : 18.26 cm²

A : 50.30 cm²

d : 178.00 mm

t_w : 9.00 mm

f_y: Límit elàstic.

γ_{M0}: Coeficient parcial de seguretat del material.

f_y : 275.00 MPa

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.

$$\lambda_w = \frac{b}{t_f}$$

λ_{màx}: Esveltesa màxima.

$$\lambda_{max} = \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

η: Coeficient que permet considerar la resistència addicional en règim plàstic deguda a l'enduriment per deformació del material.

ε: Factor de reducció.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Essent:

f_{ref}: Límit elàstic de referència.

λ_w : 7.55

λ_{màx} : 55.46

η : 1.20

ε : 0.92

f_{ref} : 235.00 MPa