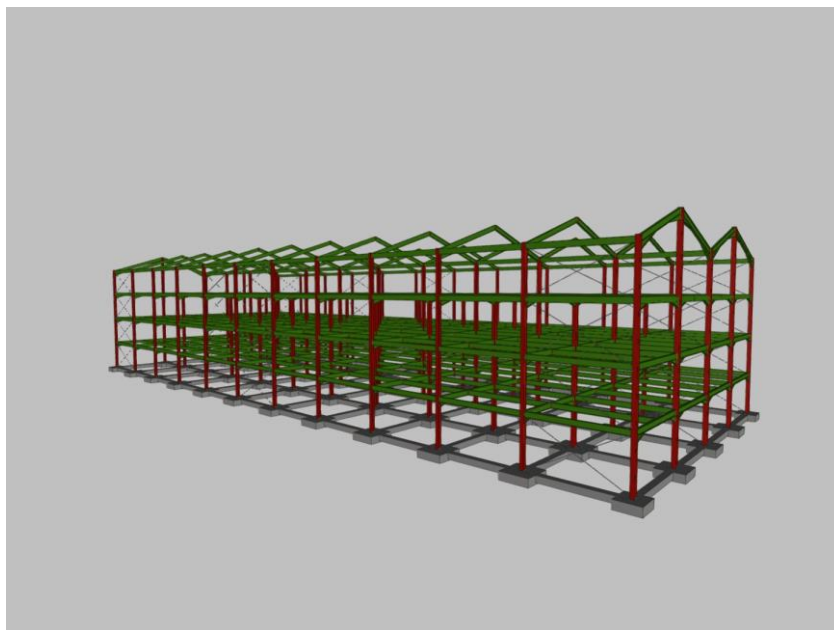


INGENIARITZA MEKANIKOKO GRADUA

GRADU AMAIERAKO LANA

SELF-STORAGERAKO ERAIKINA

3. DOKUMENTUA - ERANSKINAK



Ikaslea: Garcia Gonzalez, Xabier

Zuzendaria: Laraudogoitia Alzaga, Juan Esteban

3. DOKUMENTUA - ERANSKINAK

AURKIBIDEA

3.1 SARRERA	7
3.2 KARGEN ANALISIA	7
3.2.1 KARGA IRAUNKORRAK	7
3.2.1.1 PROFILEN BEREZKO PISUA	7
3.2.1.2 ESTALKIAREN KARGA.....	8
3.2.1.3 FORJATU KOLABORANTEAREN KARGA.....	9
3.2.2 KARGA ALDAKORRAK.....	10
3.2.2.1 ERABILERA GAINKARGA.....	10
3.2.2.2 HAIZEA	11
3.2.2.3 ELURRA.....	18
3.2.2.4 LURRIKAREN ERAGINA.....	20
3.2.2.5 SUAREN AKZIOA.....	21
3.2.2.6 KARGEN BILDUMA.....	23
3.2.3 INDARREN ARTEKO KONBINAKETAK	25
3.2.3.1 AZKEN MUGA EGOERA	25
3.2.3.2 ZERBITZU MUGA EGOERA	29
3.3 ERAIKINAREN KALKULUA	31
3.3.1 ITXITURA	31
3.3.1.1 ESFORTZUAK	32
3.3.1.2 ESFORTZUEN KONBINAZIOAK	34
3.3.1.3 HORMEN ITXITURA	35
3.3.2 PETRALAK	37
3.3.2.1 CYPE GENERADOR DE PORTICOS	37
3.3.2.2 PETRALEN KALKULUA	40
3.3.3 PORTIKOAK	63
3.3.3.1 PORTIKO ZENTRALAREN KALKULUA	68
3.3.3.2 PORTIKO HASTIALAREN KALKULUA	115
3.3.4 ZIMENDAPENA	173
3.3.4.1 HORMIGOIZKO ZAPATAK	173
3.3.4.2 FINKATZE PLAKAK	183
3.3.5 LOTURAK	192
3.3.5.1 ITXITURA PANELEN LOTURA	192
3.3.5.2 PETRALEN LOTURA.....	192
3.3.5.3 PORTIKOEN LOTURAK.....	193

3.3.6 ARRIOSTRAMENDUAK	529
3.3.6.1 ARRIOSTRAMENDUEN DIMENSIONAMENDUA	529
3.3.7 SANEAMENDUA	535
3.3.7.1 ERDIKO ISURIALDEA	535
3.3.7.2 ALBOETAKO ISURIALDEAK	538
3.3.8 FORJATU KOLABORANTEA	540

IRUDIEN AURKIBIDEA

3.1 Irudia – HIANSA EASY ALU 5GR Panela.....	8
3.2 Irudia – Forjatu Kolaboratzailea.....	9
3.3 Irudia – Haizearen Abiaduraren Oinarrizko Balioa.....	12
3.4 Irudia – Egituraren Kota Nagusiak.....	14
3.5 Irudia – d Parametroa Haizearen Norabidearen Arabera.....	17
3.6 Irudia – Haizearen Eraginez Elur Kantitate Irregularra.....	19
3.7 Irudia – NCSE02 Arauaren Oinarrizko Azelerazioen Mapa.....	20
3.8 Irudia – NCSE02 Arauaren Salbuespenak.....	20
3.9 Irudia – Suaren Aurkako Babesaren Muntaketa Eskema.....	21
3.10 Irudia – 18 MAGNA Pladur Plakaren Datu Teknikoak.....	22
3.11 Irudia – Deformazioen Diagrama.....	30
3.12 Irudia – Panelen Lotura.....	31
3.13 Irudia – Indarren Deskonposizioa.....	32
3.14 Irudia – CYPE Programaren Menu Nagusia.....	37
3.15 Irudia – Portikoen Dimentsio Nagusiak.....	38
3.16 Irudia – Egituraren Datu Orokorrak.....	38
3.17 Irudia – Haizearen Definizio Koadroa.....	39
3.18 Irudia – Kokalekuaren Definizioa.....	39
3.19 Irudia – Parametroen Definizioa.....	40
3.20 Irudia – Teilatuko Petralen Datu Orokorrak.....	41
3.21 Irudia – Hormetako Petralen Datu Orokorrak.....	41
3.22 Irudia – Teilatuko Petralen Dimentsionamendua.....	42
3.23 Irudia – Hormetako Petralen Dimentsionamendua.....	42
3.24 Irudia – CYPE 3D Datu Orokorren Koadroa.....	63
3.25 Irudia – CYPE-ren Lursail Mota Ezberdinak.....	63
3.26 Irudia – Erabileraren Gainkargaren Definizioa.....	64
3.27 Irudia – Hipotesi Gehigarriak.....	64
3.28 Irudia – Haizearen Konbinazioak.....	65
3.29 Irudia – Elurraren Konbinazioak.....	65
3.30 Irudia – Gezien Definizioa.....	66
3.31 Irudia – Portikoen Kokalekua.....	66
3.32 Irudia – Portiko Hastialaren Elementu Nagusiak.....	67
3.33 Irudia – Portiko Zentralaren Elementu Nagusiak.....	67
3.34 Irudia – Portiko Zentralaren Solairuen Habeak.....	68
3.35 Irudia – Portiko Zentralaren Teilatuen Habeak.....	80
3.36 Irudia – Portiko Zentralaren Zutabe Zentralak.....	93
3.37 Irudia – Portiko Zentralaren Alboko Zutabeak.....	103
3.38 Irudia – Portiko Hastialaren Solairuen Habeak.....	115

3.39 Irudia – Portiko Hastialaren Teilatuko Habeak.....	127
3.40 Irudia – Portiko Hastialaren Zutabe Zentralak.....	140
3.41 Irudia – Portiko Hastialaren Alboko Zutabeak.....	150
3.42 Irudia – Portikoen Arteko Habetxoak.....	162
3.43 Irudia – Zapaten Eskema.....	173
3.44 Irudia – Ainguraketa Sistemaren Eskema.....	183
3.45 Irudia – HEA 240 Zutabearen Ainguraketa Plaka.....	183
3.46 Irudia – HEB 260 Zutabearen Ainguraketa Plaka.....	187
3.47 Irudia – Panelen Lotura.....	192
3.48 Irudia – Petralen Lotura Eskema.....	192
3.49 Irudia – Alboko Zutabeen eta Habeen Arteko Lotura.....	193
3.50 Irudia – Zutabe Zentralen eta Habeen Arteko Lotura.....	229
3.51 Irudia – Alboko Zutabearen eta Teilatuko Habearen Arteko Lotura.....	277
3.52 Irudia – Zutabe Zentralaren eta Teilatuko Habearen Arteko Lotura.....	311
3.53 Irudia – Teilatuko Habeen Arteko Lotura.....	354
3.54 Irudia – Alboko Zutabeen eta Habeen Arteko Lotura.....	369
3.55 Irudia – Zutabe Zentralen eta Habeen Arteko Lotura.....	395
3.56 Irudia – Alboko Zutabearen eta Teilatuko Habearen Arteko Lotura.....	433
3.57 Irudia – Zutabe Zentralaren eta Teilatuko Habeen Arteko Lotura.....	460
3.58 Irudia – Teilatuko Habeen eta Zutabearen Arteko Lotura.....	499
3.59 Irudia – Arriostramenduen Kokalekua.....	529
3.60 Irudia – Arriostramenduentzako Kable Diametroak.....	530
3.61 Irudia – IGENA Fabrikantearen Kablearen Espezifikazio Teknikoak.....	533
3.62 Irudia – Lotura Pieza Diseinatzeko Parametroak.....	534
3.63 Irudia – Arriostramenduen lotura Pieza.....	534
3.64 Irudia – Isurialdeak.....	535
3.65 Irudia – Zonalde Plubiometrikoak.....	536
3.66 Irudia – Forjatu Kolaborantea.....	540

TAULEN AURKIBIDEA

3.1 Taula – HIANSA EASY ALU 5GR Panelaren Berezko Pisua.....	8
3.2 Taula – Balio Karakteristikoak Erabilera Gainkargentzat.....	10
3.3 Taula – Esposizio Koefizientearen Balioa (Ce).....	13
3.4 Taula – 0°-tara Haizearen Presio Koefizienteak.....	14
3.5 Taula – Presio Koefizienteak 0°-tara 18,26° inklinazioko Teilatuarentzat.....	15
3.6 Taula – 90°-tara Haizearen Presio Koefizienteak.....	16
3.7 Taula – Presio Koefizienteak 90°-tara 18,26° inklinazioko Teilatuarentzat.....	16
3.8 Taula – Horman Presio Koefizienteak.....	17
3.9 Taula – Hormen Presio Koefizienteak Haizea 0°-tara eta 90°-tara.....	18
3.10 Taula – Elurraren Kargaren Balio Karakteristikoa Probintzien Hiriburuetan.....	19
3.11 Taula – Pladur Geruza Kantitatearen aukeraketa.....	22
3.12 Taula – Estalkiaren Berezko Pisuaren Indarra.....	23
3.13 Taula – Solairuen Forjatu Kolaborantearen Berezko Pisuaren Indarra.....	23
3.14 Taula – Teilatuaren Mantenimendurako Erabilerak Sortutako Indarra.....	23
3.15 Taula – Self-Storageerako Erabilerak Solairuetan Sortutako Indarra.....	23
3.16 Taula – Elurrak Sortutako Indarra.....	23
3.17 Taula – Haizeak Sortutako Indarra Teilatuan 0°-tara.....	24
3.18 Taula – Haizeak Sortutako Indarra Hormetan 0°-tara.....	24
3.19 Taula – Haizeak Sortutako Indarra Teilatuan 90°-tara.....	24
3.20 Taula – Haizeak Sortutako Indarra Hormetan 90°-tara.....	24
3.21 Taula – Indarren Konbinaketak.....	26
3.22 Taula – Segurtasun Koefiziente Partzialak.....	27
3.23 Taula – Aldiberekotasun Koefizienteak.....	27
3.24 Taula – Indarren Konbinaketen Selektzioa.....	28
3.25 Taula – Aztertuko Diren Indarren Konbinaketak.....	28
3.26 Taula – EASY ALU 5GR Panelaren Espezifikazio Teknikoak.....	31
3.27 Taula – Teilatuko Itxituraren Konbinaketen Emaitzak.....	34
3.28 Taula – EASY ALU 5GR Panelaren Karga Kapazitatea Euste Distantzia Ezberdinentzako.....	35
3.29 Taula – Zapaten Datu Orokorrak.....	174
3.30 Taula – Beharrezko Hustubide Kopurua Estalkiaren m ² -engatik.....	535
3.31 Taula – Erregimen Plubiometrikoak.....	536
3.32 Taula – Kanaloien Diametro Minimoa 100mm/h Erregimen Plubiometrikoentzat.....	537
3.33 Taula – Hustubideen Diametro Minimoa 100mm/h Erregimen Plubiometrikoentzat.....	537
3.34 Taula – Kolektorearen Diametro Minimoa 100mm/h Erregimen Plubiometrikoentzat.....	538
3.35 Taula – Beharrezko Hustubide Kopurua Estalkiaren m ² -engatik.....	538
3.36 Taula – Kanaloien Diametro Minimoa 100mm/h Erregimen Plubiometrikoentzat.....	538
3.37 Taula – Hustubideen Diametro Minimoa 100mm/h Erregimen Plubiometrikoentzat.....	539
3.38 Taula – Kolektorearen Diametro Minimoa 100mm/h Erregimen Plubiometrikoentzat.....	539

3. DOKUMENTUA - ERANSKINAK

3.1 SARRERA

Dokumentu honetan egituraren estalkia eta egitura bera osatzen duten elementuak zehazteko erabili den prozedura eta kalkuluak azalduko dira. "2. Dokumentua – Memoria"-n adierazi diren parametro guztiak zehaztu ondoren egitura osatzen duten elementu guztien kalkulua egingo da Eraikuntzaren Kodigo Teknikoan (EKT) adierazten diren arauak kontuan hartuz.

3.2 KARGEN ANALISIA

Kargen analisia EKT-ko Eraikin Segurtasuneko Oinarrizko Dokumentua eta Eraikin Segurtasuneko Oinarrizko Dokumentua – Eraikinean Eragiten Ditutzen Akzioak dokumentuetan adierazten diren parametroen arabera egingo da.

Kargak hiru azpimultzotan sailkatu daitezke:

- Karga Iraunkorrak
- Karga Aldakorrak
- Aurreko bi margen arteko konbinaketa hipotesiak

3.2.1 KARGA IRAUNKORRAK

Karga mota hauek denbora guztian eragiten dute estalkiaren, eta, ondorioz, egituraren gainean. Hiru indar hartuko dira kontuan, estalkiaren berezko pisua, egitura osatzen duten profilen pisua eta azkenik egituraren solairuen zoria osatzen duen forjatu kolaborantearen pisua.

3.2.1.1 PROFILEN BEREZKO PISUA

Egitura osatzen duten profilen berezko pisua materialaren pisu espezifikoa eta profilaren dimentsioen arabera da. Ondorengo formularekin kalkulatu daiteke:

$$BP = \gamma_p \cdot A \quad (1)$$

- BP : Berezko Pisuaren Karga
- γ_p : Materialaren Pisu Espezifikoa
- A : Elementuaren Azalera

Egituraren elementuen berezko pisuaren kalkulua, kalkulu programa baten bidez egingo da, egituraren elementu bakoitzak azalera eta luzera ezberdinak dituztelako.

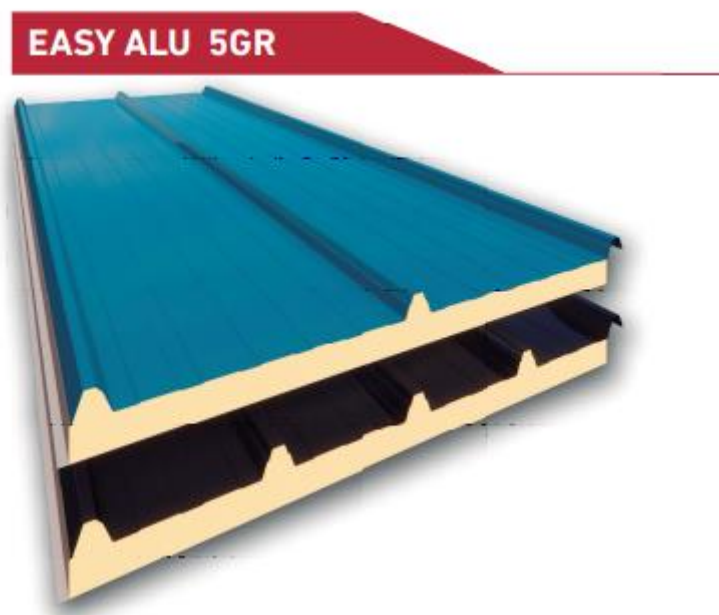
3.2.1.2 ESTALKIAREN KARGA

Estalkiaren karga jakiteko lehenik eta behin erabiliko den estalkia aukeratu behar da. Self storagerako eraikinaren kasuan, isolamendu termikoa daukan estaldura bat behar da. Kanpo argia ez da beharrezkoa eraikinaren barnealdean, oso konpartimentatuta egongo baita eta bere aprobetxamendua zaila izango delako.

“HIANSA” fabrikantearen panelak erabiltzea erabaki da, konkretuki “EASY ALU 5GR” Modeloa

EASY ALU 5GR

Produktu hau 3 geruzaz osatutako “panel sandwich” bat da. Kanpoaldeko geruza prelakatutako altzairuzko txapa batek osatzen du elementuen akzioa jasateko. Erdiko geruza isolatzaile termikoak osatzen du, Poliuretano eta Poli-Isocianuratozko konbinaketaren artean sortutako material isolatzailea hain zuzen ere. Barnealdean geratzen den geruza aluminiozko txapa fina da material isolatzailea babesteko.



3.1 Irudia – HIANSA EASY ALU 5GR Panela

PESO en kg/m ²		ESPESORES	
Perfiles	Chapa	10	30
5 GR	0.5	5.5	6.91

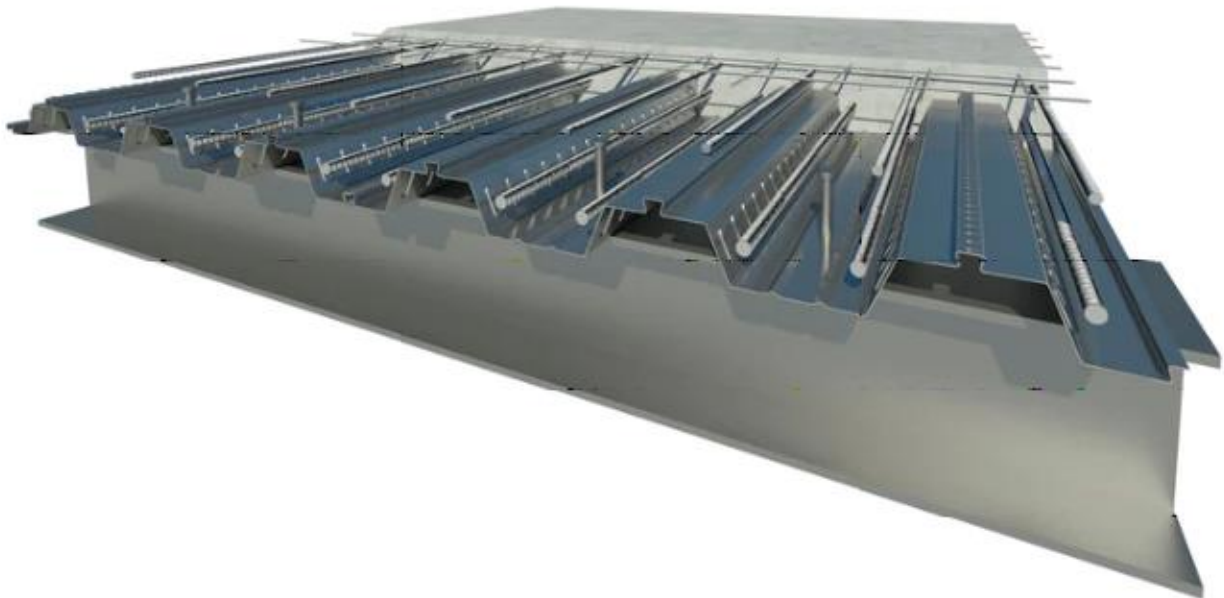
3.1 Taula – HIANSA EASY ALU 5GR Panelaren Berezko Pisua

HIANSAk panel hau 1000mm-ko zabalera estandarrean komertzializatzen du baina 2 lodiera ezberdinetan, 10mm eta 30mm. Proiektu honetarako hautatutako lodiera 30mm-koa da. HIANSAKO katalogotik estalkiaren berezko pisua:

$$q_{estalki} = 7,41 \text{ kg/m}^2 = 0,0741 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

3.2.1.3 FORJATU KOLABORANTEAREN KARGA

Egituraren solairuen zorua forjatu kolaboratzaile batez osatuta dago. Bi elementuk osatzen dute, altzairu galbanizatutako txapa batek eta bere gainean ipintzen den hormigoi armatuzko geruza. Karga astunak jasateko gai da eta bere abantaila nagusietako bat da enkofratuak eta zinbriak (3m baino gutxiagoko tartetean) ez direla beharrezkoak, exekuzio denborak murriztuz eta baita kosteak ere.



3.2 Irudia – Forjatu Kolaboratzailea

Zoru honen kalkulua “Europerfil” enpresari eskatu zaio eta 400kg/m²-ko erabilera gainkarga batentzat eta euste puntuen arteko distantzia 3m-koa izanik berezko pisua ondorengoa da:

$$q_{Forj\ Kol} = 323 \text{ Kg/m}^2 = 3,23 \text{ KN/m}^2 \quad (3)$$

3.2.2 KARGA ALDAKORRAK

Karga aldakorrak, bere izenak adierazten duen moduan, momentu batzuetan eragiten duten eta beste batzuetan eragiten ez duten kargak dira. Kalkuluan Karga Iraunkorrei gehitzen zaizkie egitura dimentsionatzeko, hala nola, Haizea, Elurra, Erabilera Gainkarga...

3.2.2.1 ERABILERA GAINKARGA

Eraikinean bi erabilera gainkarga ezberdin banatuko dira. Alde batetik, eraikinaren barnealdean, solairuen zorian erabilera gainkarga bat sortuko da, barnealdean egingo den aktibitatearen arabera. Beste alde batetik, teilatuaren kanpoaldean beste gainkarga bat sortuko da, kontserbaziorako igo daitezkeen langileen edo eta makinaren pisua. Bi karga hauek kontuan hartu behar dira kalkulua egiteko orduan.

Self-Storagerako erabiliko den eraikin batean erabileragatik sortutako gainkarga 400 kg/m²-tan estimatzen da. Esperientziagatik lortutako balio bat da eta ez dago arauetan estandarizatuta, baina komenigarria da balio horrekin kalkulatzeko, beraz:

$$q_{Era\ Solairu} = 400 \text{ Kg}/m^2 = 4 \text{ KN}/m^2 \quad (4)$$

Teilatuan kontserbaziorako sortzen den erabilera gainkarga araututa dago Kodigo Teknikoan, konkretuki Eraikin Segurtasuneko Oinarrizko Dokumentua – Eraikinean Eragiten Duten Akzioak dokumentuan. Egitura Segurtasuna – Akzioak Edifikazioan (SE-AE) dokumentuan hurrengo taula aurkitu dezakegu (Dokumentuan 3.1 Taula) non kargak zehazten diren izango duen erabileraren arabera. Kargak norabide bertikalean aplikatzen dira.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ^{(4),(6)}	2
		G2	Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0.4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

3.2 Taula – Balio karakteristikoak erabilera gainkargentzat

Teilatuko estalkiak G kategorian kokatzen da, estalkira bakarrik igo daiteke mantentze lanak egiteko. Gainera estalkia petralen gainean kokatzen den estalki arina da, beraz, G1 kategorian kokatzen da. Horregatik, teilatuan aplikatu behar den erabilera hurrengoa da:

$$q_{Era\ Teilatu} = 40 \text{ Kg}/m^2 = 0,4 \text{ KN}/m^2 \quad (5)$$

$$Q_{Era\ Teilatu} = 100 \text{ Kg} = 1 \text{ KN} \quad (6)$$

Karga puntuala ez da kontuan hartuko gainazalean aplikatutako indarra eragin handiagoa izango baitu estalkiaren gainean.

3.2.2.2 HAIZEA

Haizea Kontuan hartu behar den beste indar bat da. Kodigo Teknikoak arautzen du zenbatekoa izan behar den zenbait faktoreren arabera, hala nola, forma, dimentsioak, kokalekua... Atal honetan proiektu honen eraikinak Haizeagatik jasaten dituen indarrak zehaztuko dira. Aipatu beharra dago, Haizeak sortzen duen indarra, egituraren estalkiarekiko perpendikularrean aplikatzen dela, Erabilera eta Elurra ez bezala.

Haizearen akzioak sortzen duen gainkarga gainazalarekiko perpendikularra da eta ondorengo formularekin kalkulatu daiteke:

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p \quad (7)$$

- q_e : Haizeak sortzen duen Presio Estatikoa
- q_b : Haizeak sortzen duen Presio Dinamikoa
- C_e : Esposizio Koefizientea
- C_p : Presio Koefizientea

Haizearen Presio Dinamikoa (q_b)

Kalkulatu nahi den egitura Bilbon kokatuko da, ondorioz Kode Teknikoko Eraikinen Segurtasuneko Oinarrizko Dokumentua – Eraikinean Eragiten duten Akzioak dokumentuan (D Eranskina D.1 irudia) aurkitu daitekeen hurrengo mapatik gunearen araberrako Presio Dinamikoaren koefizientea lortzen da.

- 4 El valor básico de la velocidad del viento en cada localidad puede obtenerse del mapa de la figura D.1. El de la presión dinámica es, respectivamente de $0,42 \text{ kN/m}^2$, $0,45 \text{ kN/m}^2$ y $0,52 \text{ kN/m}^2$ para las zonas A, B y C de dicho mapa.



3.3 Irudia – Haizearen abiaduraren oinarrizko balioa

Beraz, ondorioztatu daiteke Bilbo C zonaldean dagoenez Presio Dinamikoaren balioa $0,52 \text{ kN/m}^2$ -koa dela.

$$q_b = 0,52 \text{ kN/m}^2 \quad (8)$$

Esposizio Koefizientea (C_e)

Esposizio Koefizientea egituraren altueraren eta kokatzen den ingurunearen arabera da. Egitura Bilboko Zorrotzako auzoan kokatuko da, gune industrial batean. Kodigo Teknikoko SE-AE dokumentua erabilita ondorengo taula aurkitu dezakegu (Dokumentuan 3.4 Taula):

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

3.3 Taula – Esposizio Koefizienteen Balioa (Ce)

Ondorioz esan dezakegu egitura IV. Kategoriari egokitzen zaiola eta hori da erabiliko duguna. Egituraren altuera maximoa 14,54 m-koa da, ondorioz interpolazioa egin beharko litzateke 12 m eta 15 m ko balioen artean. Kasu honetan, 15 m-etatik oso hurbil dagoenez egituraren altuera eta balio kritikoagoa denez (segurtasunaren aldetik dago) 15 m-ko balioa hartuko da.

Beraz, Esposizio Koefizientearen balioa 2,1 da.

$$C_e = 2,1 \quad (9)$$

Presio Koefizientea (C_p)

Presio Koefizientea zenbait parametroren menpean dagoen balioa da, hala nola, haizearen norabidearen, egituraren forma eta dimentsioen eta azalaren araberakoa.

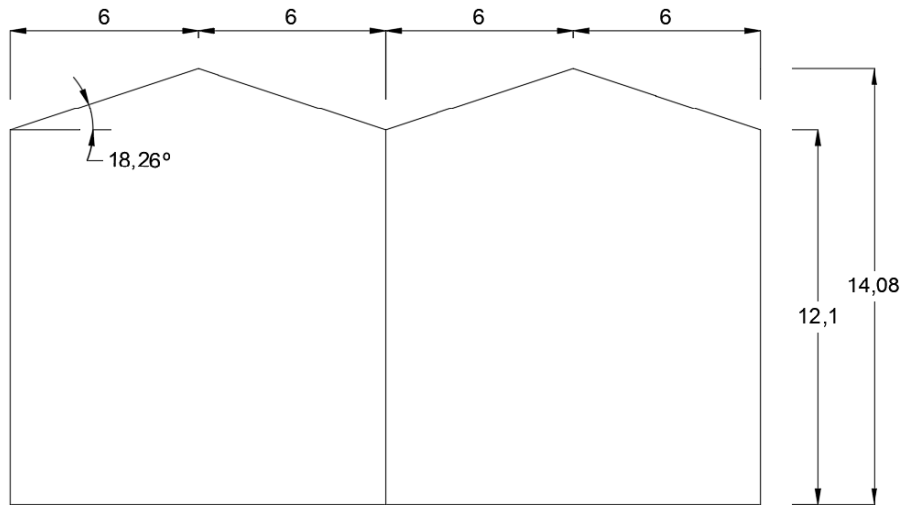
Bi Presio koefiziente bereizten dira, Barne Presio Koefizientea eta Kanpo Presio Koefizientea. Proiektu honetan garatzen den egituraren kasuan, egituraren estalkian (horma eta teilatuan) ez dagoenez garrantzia izan dezakeen irekitako gune handirik, Barne Presio Koefizientea ez da kontuan hartu behar. Irekitako gune bakarrak harreran dauden ateak izango dira eta nahiko txikiak dira hormaren azalera osoarekin konparatuta.

Kanpo Presio Koefizientea (C_{pk})

Haizeak eragin ezberdina dauka bai hormetan zein teilatuan, ondorioz bietan aztertu behar eragiten duen indarrak. Gainera haizea norabide ezberdinetan jo dezake, hori dela eta bi norabide ortogonaletan begiratuko da bere efektua.

Esan bezala, eraikinak ez dauka zabalgunegarekin garrantzitsurik bere itxituren, ondorioz haizea ezin da bere barruan sartu ezta bere barnetik igaro. Arrazoi honengatik eraikina ezin da Markesina bat dela kontsideratu.

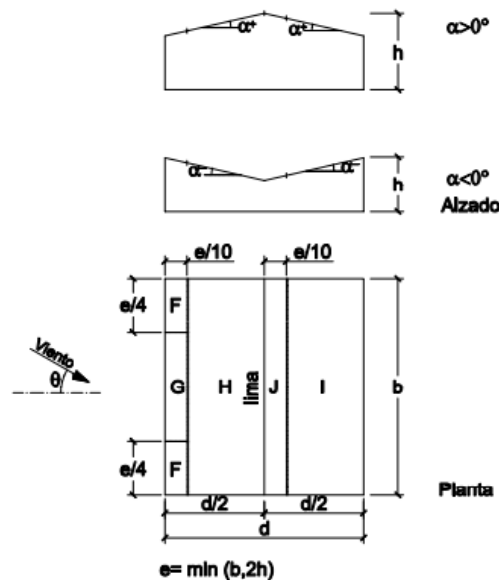
Eraikinaren kanpo dimentsioak hurrengo irudian ikusi daitezke:



3.4 Irudia – Egituraren Kota Nagusiak

Egituraren teilatuen koefizienteak lortzeko Kodigo Teknikoa Eraikuntzen Gaineko Akzioak Dokumentua D eranskinean agertzen diren D.6 a) eta b) Taulak erabiliko dira, Haizea 0°-tara eta 90°-tara jotzen duenean. Taulak 15°-ko eta 30°-ko inklinazioa duten estalkien koefizienteak isladatzen ditu. Egitura honek 18,26°-ko inklinazioa duenez, nahitaezkoa da taulan agertzen diren interpolazio lineala egitea:

a) Dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$



Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
15°	≥ 10	-0.9	-0.8	-0.3	-0.4	-1
		0.2	0.2	0.2	+0.0	+0.0
30°	≥ 10	-0.5	-0.5	-0.2	-0.4	-0.5
		0.7	0.7	0.4	0	0

3.4 Taula - 0°-tara Haizearen Presio Koefizienteak

Interpolazio linealak F G H I eta J Koefizienteak lortzeko:

$$F_g = \frac{30-18.26}{30-15} = \frac{-0.5-x}{-0.5-(-0.9)} = -0.813 \quad (10)$$

$$F_b = \frac{30-18.26}{30-15} = \frac{0.7-x}{0.7-0.2} = 0.309 \quad (11)$$

$$G_g = \frac{30-18.26}{30-15} = \frac{-0.5-x}{-0.5-(-0.8)} = -0.735 \quad (12)$$

$$G_b = \frac{30-18.26}{30-15} = \frac{0.7-x}{0.7-0.2} = 0.309 \quad (13)$$

$$H_g = \frac{30-18.26}{30-15} = \frac{-0.2-x}{-0.2-(-0.3)} = -0.278 \quad (14)$$

$$H_b = \frac{30-18.26}{30-15} = \frac{0.7-x}{0.7-0.2} = 0.309 \quad (15)$$

$$I_g = \frac{30-18.26}{30-15} = \frac{-0.4-x}{-0.4-(-0.4)} = -0.4 \quad (16)$$

$$I_b = \frac{30-18.26}{30-15} = \frac{0-x}{0-0} = 0 \quad (17)$$

$$J_g = \frac{30-18.26}{30-15} = \frac{-0.5-x}{-0.5-(-1)} = -0.891 \quad (18)$$

$$J_b = \frac{30-18.26}{30-15} = \frac{0-x}{0-0} = 0 \quad (19)$$

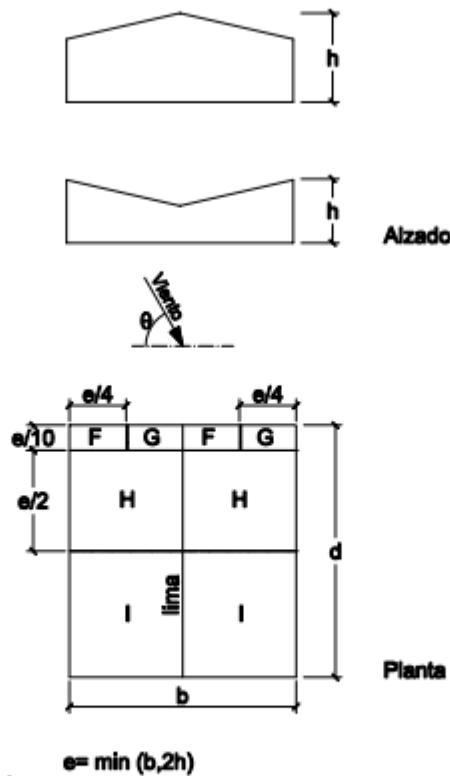
Ondorioz, Haizearen Presio Koefizienteak, 0°-tara 18,26° inklinazioko teilatu batentzat ondorengo taulan biltzen dira

ZONALDEA	TEILATUKO PRESIO KOEFIZIENTEAK 0°-TARA	
	BEHERANZKOAK	GORANZKOAK
F	0.309	-0.813
G	0.309	-0.735
H	0.309	-0.278
I	0	-0.4
J	0	-0.891

3.5 Taula – Presio Koefizienteak 0°-tara 18,26° inklinazioko teilatuarentzat

Prozedura berdina jarraitu behar da haizea 90°-tara jotzen duenean koefizienteak lortzeko. Kasu honetan dokumentuaren b) Taula erabili behar da, bertan azaltzen diren koefizienteak interpolatuz

b) Dirección del viento $45^\circ \leq \theta \leq 135^\circ$



Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$			
		F	G	H	I
15°	≥ 10	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
30°	≥ 10	-1,1	-1,4	-0,8	-0,5

3.6 Taula - 90°-tara Haizearen Presio Koefizienteak

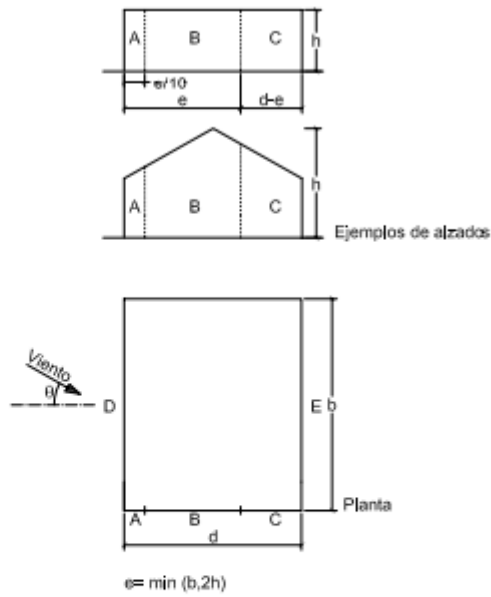
Kasu honetan zuzenean interpolatutako balioa biltzen dira hurrengo taulan, kalkulua aurreko atalean egin den berdina baita:

ZONALDEA	TEILATUKO PRESIO KOEFIZIENTEAK 90°-TARA	
	BEHERANZKOAK	GORANZKOAK
F	0	-1.257
G	0	-1.322
H	0	-0.644
I	0	-0.5

3.7 Taula – Presio Koefizienteak 90°-tara 18,26° inklinazioko teilatuarentzat

Hormetan sortzen diren Presio Koefizienteak ere kontuan hartu behar dira, kasu honetan balioak zuzenean Kodigo Teknikoa Eraikuntzen Gaineko Akzioak Dokumentua D eranskinean agertzen den D.3 Taulako balioak erabili behar dira.

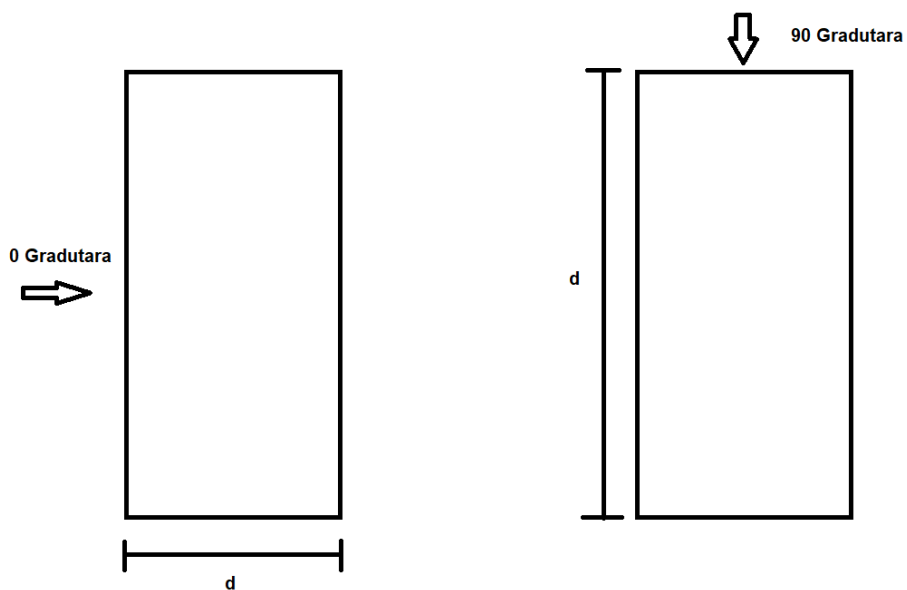
Tabla D.3 Paramentos verticales



A (m ²)	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"		0,7	-0,3

3.8 Taula – Horman Presio Koefizienteak

3.8 Taulan Parametro berri bat azaltzen da, h/d erlazioa. 0°-tara eta 90°-tara, parametro hori ezberdina da, hurrengo irudian ikusi daitekeen bezala:



3.5 Irudia – d Parametroa Haizearen norabidearen arabera

Argi ikusten da Haizea 0°-tara jotzen duenean $d=24\text{m}$ direla eta Haizea 90°-tara jotzen duenean $d=66\text{m}$ direla. Bi kasuetan $h=14,08\text{ m}$ da. Ondorioz, $h/d=0.59$ da Haizea 0°-tara jotzen duenean eta $h/d=0.213$ da Haizea 90°-tara jotzen duenean.

Beharrezko interpolazioak eginda 3.8 Taulan adierazitako balioekin, beharrezkoa bada, ondorengo taulan biltzen dira hormetan sortzen diren presio koefizienteak

ZONALDEA	HORMEN PRESIO KOEFIZIENTEAK	
	0°-TARA	90°-TARA
A	-1.2	-1.2
B	-0.8	-0.8
C	-0.5	-0.5
D	0.745	0.7
E	-0.391	-0.3

3.9 Taula – Hormen Presio Koefizienteak Haizea 0°-tara eta 90°-tara

3.2.2.3 ELURRA

Eraikinetan eragin egiten duen beste elementuetako bat Elurra da. Klimaren, kokalekuaren, Eraikinaren formaren eta beste zenbait parametroen arabera bere eragina handiagoa edo txikiagoa izan daiteke.

Eraikuntzaren Kodigo Teknikoaren arabera, elurrak sortzen duen karga ondorengo ekuazioarekin kalkulatu daiteke. Sortzen den karga, karga bertikala da.

$$q_{elurra} = \mu \cdot s_k \quad (20)$$

- q_n : Elurraren Karga Azalera unitateko
- μ : Eraikinaren Estalkiaren Forma Koefizientea
- s_k : Gainazal Horizontalean Elurraren Kargaren Balio Karakteristikoa

Forma Koefizientea (μ)

Kodigo Teknikoan azaltzen da Forma koefizientea = 1 izango dela estalkiaren inklinazioa 30° baino gutxiagokoa bada. Proiektu honek garatzen ari den egiturak 18,26°-ko inklinazioa duen estalkia dauka, ondorioz forma koefizientearen balioa 1 izango da.

Balio Karakteristikoa (s_k)

Kargaren balio Karakteristikoa egitura kokatuko den lekuaren arabera da. Egitura Bilbo-ko Udalerrian kokatuko da, Bizkaian. Kodigo Teknikoan Probintzia guztien hiriburuen balio karakteristikoak biltzen dituen taula dauka. Bilbo Bizkaiko hiriburua da eta ondorioz taula horretan azaltzen da

Capital	Altitud m	s _k kN/m ²	Capital	Altitud m	s _k kN/m ²	Capital	Altitud m	s _k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas- tián/Donostia	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Segovia	10	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	1.090	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Soria	0	0,9
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Tarragona	0	0,4
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tenerife	950	0,2
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,2	Teruel	550	0,9
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Toledo	0	0,5
Ciudad Real	640	0,2	Orense / Ourense	130	0,4	Valencia/València	690	0,2
Córdoba	100	0,6	Oviedo	230	0,5	Valladolid	520	0,4
Coruña / A Coruña	0	0,2	Palencia	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Cuenca	0	0,3	Palma de Mallorca	0	0,4	Zamora	210	0,4
Gerona / Girona	1.010	1,0	Palmas, Las	0	0,2	Zaragoza	0	0,5
Granada	70	0,4	Pamplona/Iruña	450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2
	690	0,5						

3.10 Taula – Elurraren Kargaren Balio Karakteristikoa Probintzien Hiriburuetan

Beraz, Elurratik sortzen den gainkarga norabide bertikalean ondorengoa da:

$$q_{elurra} = 1 \cdot 0,3 \text{ KN/m}^2 = 0,3 \text{ KN/m}^2 \quad (21)$$

Elurraren gainkargaren aplikazioa 3 era ezberdinetan kalkulatu behar da Kodigo teknikoan azaltzen den moduan. Lehenik eta behin elurra bi isurialdeetan bere karga maximoarekin aplikatuta. Beste bi kasuak, Haizearen eraginagatik Isurialde batean elurra bere karga maximoarekin eta bestean erdia

3.5.3 Coeficiente de forma

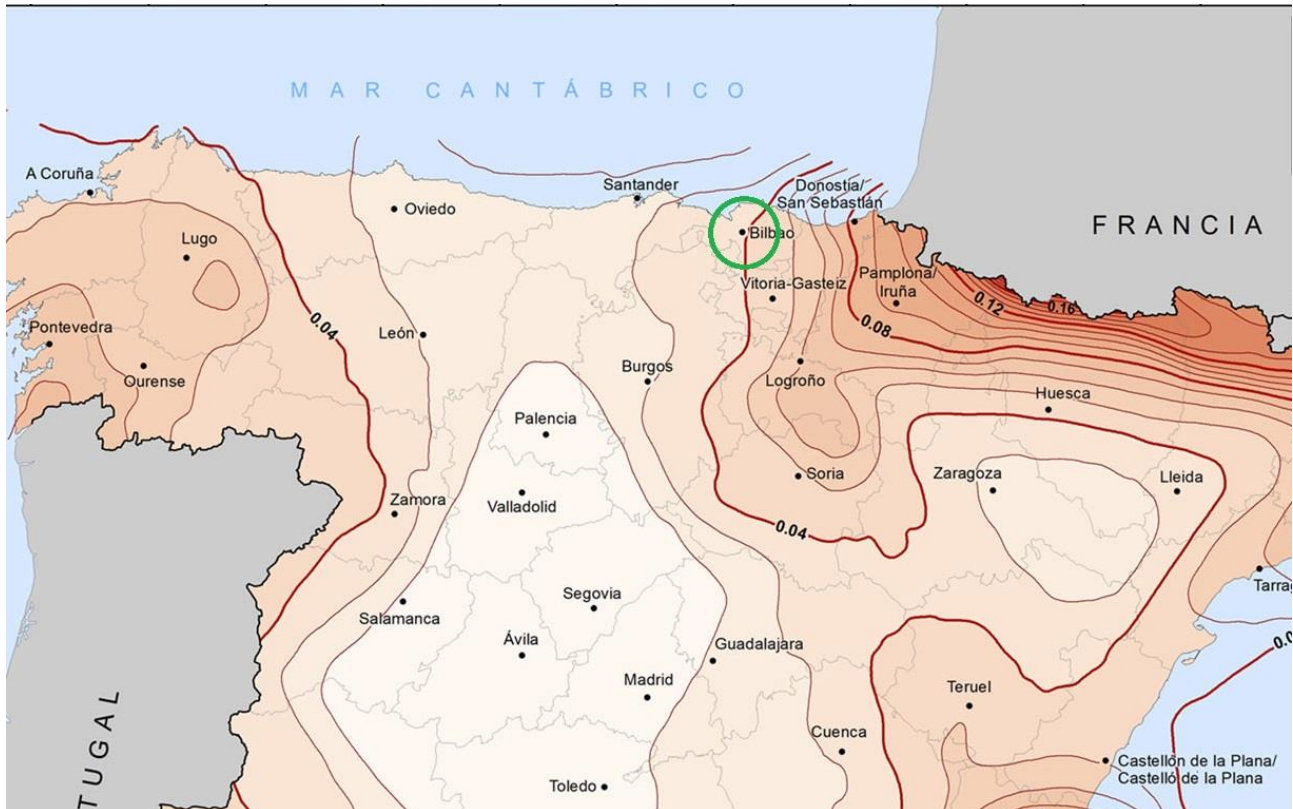
El viento puede acompañar o seguir a las nevadas, lo que origina un depósito irregular de la nieve sobre las cubiertas. Por ello, el espesor de la capa de nieve puede ser diferente en cada faldón. Para la determinación del coeficiente de forma de cada uno de ellos, se aplicarán sucesivamente las siguientes reglas

Se tendrán en cuenta las posibles distribuciones asimétricas de nieve, debidas al transporte de la misma por efecto del viento, reduciendo a la mitad el coeficiente de forma en las partes en que la acción sea favorable.

3.6 Irudia – Haizearen eraginez Elur kantitate irregularra

3.2.2.4 LURRIKAREN ERAGINA

Espainiar Estatuan lurrikaren akzioak arautzen dituen araua NCSE02 araua da. Arau honek zenbait salbuespen adierazten ditu lurrikaren efektuak egituraren diseinuan kontuan ez hartzeko. Orokorrena, oinarrizko azelerazio sismikoa 0,04-g baino txikiagoa bada, orduan ez da lurrikaren akzioa kontuan hartu behar.



3.7 Irudia – NCSE02 Arauaren oinarrizko azelerazioen mapa

Argi ikusten da Bilbo 0,04-g baino gutxiagoko eremuan dagoela kokatuta, mugatik hurbil badago ere. Ondorioz, ez da beharrezkoa lurrikaren efektua kontuan izatea egitura kalkulatzeko orduan.

1.23. Criterios de aplicación de la Norma.

La aplicación de esta Norma es obligatoria en las construcciones recogidas en el artículo 1.2.1, excepto:

- En las construcciones de importancia moderada.
- En las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica a_b sea inferior a 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad.
- En las construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica a_b (art. 2.1) sea inferior a 0,08 g. No obstante, la Norma será de aplicación en los edificios de más de siete plantas si la aceleración sísmica de cálculo, a_c , (art. 2.2) es igual o mayor de 0,08 g.

3.8 Irudia – NCSE02 Arauaren salbuespenak

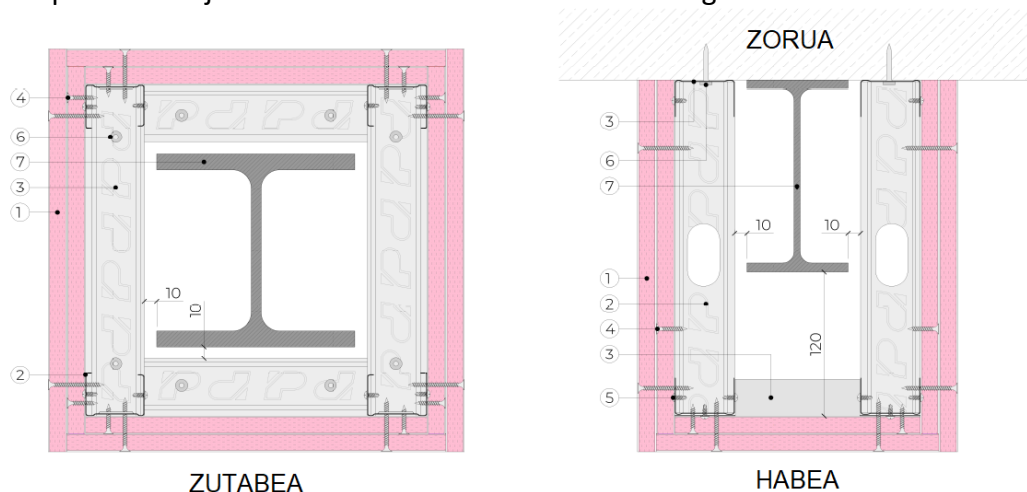
3.2.2.5 SUAREN AKZIOA

8.4 Dokumentuan zehazten diren arrazoien arabera, egiturak eta su sektoreen hormak eta sabaia, suaren aurkako REI 120 babesa izan beharko dute. Babes oso altua da, ondorioz profilen gaindimentsionaketa suaren efektua jasateko oso handia izan beharko litzateke (edo zenbait kasutan ezinezkoa). Beraz, REI 120 babesa lortzeko bi metodo ezberdin proposatzen dira.

Lehenengoa egitura metalikoa “Perlita Vermiculita”-zko Mortero geruza batekin babestea da. Azkar aplikatu daiteke egitura osoari baina akabera itsusia uzten du egiturari, hala ere, ondoren barne konpartimentazio bat ezarriko denez, zutabeak eta habeak estali egin daitezke morteroa ezkutatuz. Bigarren metodoa, suaren aurkako pladur panelen instalazioa da. Zutabeak eta habeak panel hauekin inguratuz enkofratu bat sortzen da egitura babesteko. Metodo askoz geldoa da baina askoz txukunagoa ere. Gainera, aipatu den bezala, azkenengo faseetan egituraren barnealdea konpartimentatuko da, self storagerako boxeak sortzeko, beraz, momentu horretan konpartimentazioa eraikitzearekin batera egin daitekeen eragiketa bat da.

Bi metodoetan solairuaren sabaia ere babestu egin beharko litzateke. Kasu honetan, forjatu kolaborantearen soluzioa eskatu denean “Europerfil” enpresari, kontuan hartu da REI 120-ko babesa izan behar zuela. Horregatik, bai txapa zein hormigoizko zolata kargengatik beharrezkoa baino lodiera handiagoa daukate, babes hori lortu ahal izateko. Ondorioz, ez zaio inolako babes gehigarri aplikatu behar.

Aukeratu den soluzioa egituraren profilen inguruan enkofratu babestaile bat egitea izan da, eraikinak izango duen erabileragatik barnealdearen itxura eta txukuntasuna garrantzitsua izango baita. Habe eta zutabe guztiak suaren aurkako pladur geruza baten barnean geratuko dira, egituraren segurtasuna bermatzeko sute kasuan. Pladur plakak lotzeko, zutabeak eta habeak inguratzen dituen metalezko profil arinez osatutako egitura sekundario bat sortu, eta bertan finkatuko dira plakak torlojuen bidez. Muntaketa eskema hurrengo irudian adierazten da.



- | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| ① Pladur plaka | ③ Pladuraren Euskarri Horizontala | ⑤ Euskarriak Muntatzeko Torlojuak | ⑦ Babestu Beharreko Egitura Metalikoa |
| ② Pladuraren Euskarri Bertikala | ④ Plaka Eusteko Torlojuak | ⑥ Ainguraketa Torlojuak | |

3.9 Irudia – Suaren Aurkako Babesaren Muntaketa Eskema

Beharrezko pladur plaka kopurua Pladur enpresaren katalogotik jakin egin daiteke. Egituraren profil guztien masibitateak 111-200 tartean aurkitzen dira, ondorioz 2 plaka “18 MAGNA” erabiltzea erabaki da.

Características técnicas

CAPACIDAD PORTANTE (R)	MASIVIDAD DEL PERFIL DE ACERO A PROTEGER (m ³)								
	≤ 41	42 - 70	71 - 90	91 - 110	111 - 200	201 - 240	241 - 300	301 - 310	311 - 370
R-15					2x13F				
R-30					2x13F				
R-60					2x13F				
R-90				2x13F					2x15F
R-120	2x13F	2x15F			3x13F				3x15F
				2x18 MAGNA			2x25 MAGNA		
R-180	4x13F	4x15F							
	2x25 MAGNA				2x25 MAGNA + 1x13F				

3.11 Taula – Pladur Geruza Kantitatearen aukeraketa

DADOS TÉCNICOS

PROPIEDADES	VALORES	
Color	Cara - Mostaza Dorso - Marrón kraft	
Borde longitudinal Borde transversal	BA (Afinado) BCT (Cortado)	
Espesor (mm)	18	25
Peso (kg/m ²) aprox.	17	21
Resistencia a flexión (N)	Longitudinal	
	>1000	>1400
	Transversal	
	>400	>550
Conductividad térmica (λ) (W/mK)	≤0,25	≤0,25
Resistencia térmica (m ² K/W)	0,07	0,10
Dilatación linear (m/m °C)	15 x 10 ⁻⁶	15 x 10 ⁻⁶
Dureza superficial (hueña) (mm)	∅ ≤15	∅ ≤15
Permeabilidad al aire [m ³ /(m ² .s.Pa)]	1,4 x 10 ⁻⁶	1,4 x 10 ⁻⁶
Permeabilidad al vapor de agua (factor de resistencia)	10	10
Reacción al fuego	A2 s1 d0	
Norma aplicable / certificaciones	EN-520 CE NF N	
Classificación (de acuerdo con EN-520)	I	I

DIMENSIONES (MM)

ESPESOR	LARGO X ANCHO
18	2600x900
25	2600x900

TOLERANCIAS (SEGÚN EN-520)

- Longitud: +0 / -5 mm
- Ancho: +0 / -4 mm
- Espesor: ±0,4 mm

MARCADO DE PLACA Y PALET

- **Borde afinado:** logo PLADUR®, tipo de placa, tipo de borde, marcado CE y sellos de calidad.
- **Borde:** Código EAN, tipo de placa, dimensiones y tipo de borde
- **Dorso:** PLADUR®, denominación de placa, Placa Yeso laminado tipo de placa según EN-520, espesores, EN-520, tipo de borde, reacción al fuego, made in Spain, fecha fabricación.
- **Palet:** logo PLADUR®, tipo de placa, dimensiones y tipo de borde.



Embalaje

ESPESOR	UDS / LOTE	OTROS
18	32	Los lotes apoyan sobre calas de lino. la cantidad de calas varía según el espesor y las dimensiones de las placas.
25	26	

3.10 Irudia – 18 MAGNA Pladur Plakaren Datu Teknikoak

3.2.2.6 KARGEN BILDUMA

Ondoren biltzen dira aurretik azaldutako karga guztiak, Berezko Pisuak, Erabilerak, Elurrak eta Haizeak sortutako indarrak:

KARGA IRAUNKORRAK:

Berezko Pisuak

ZONALDEA	ESTALKIAREN KARGA (KN/m ²)
	BEHERA BERTIKALEAN
ESTALKI OSOAN	0,0741

3.12 Taula – Estalkiaren berezko pisuaren indarra

ZONALDEA	FORJATU KOLABORANTEAREN KARGA (KN/m ²)
	BEHERA BERTIKALEAN
SOLAIRU GUZTIETAN	3,23

3.13 Taula – Solairuen Forjatu Kolaborantearen berezko pisuaren indarra

KARGA ALDAKORRAK:

Erabilerak

ZONALDEA	TEILATUMANTENIMENDUAREN KARGA (KN/m ²)
	BEHERA BERTIKALEAN
ESTALKI OSOAN	0,4

3.14 Taula – Teilatuaren mantenimendurako erabilerak sortutako indarra

ZONALDEA	SOLAIRUEN ERABILERAREN KARGA (KN/m ²)
	BEHERA BERTIKALEAN
SOLAIRUEN ZORUA	4

3.15 Taula – Self-Storagerako erabilerak solairuetan sortutako indarra

Elurra

ZONALDEA	ELURRAREN KARGA (KN/m ²)
	BEHERA BERTIKALEAN
ESTALKI OSOAN	0,3

3.16 Taula – Elurrak sortutako indarra

Haizea 0°-tara

ZONALDEA	HAIZEAREN KARGA TEILATUAN 0°-TARA (KN/m ²)	
	BEHERANTZ	GORANTZ
F	0,337	-0,888
G	0,337	-0,803
H	0,337	-0,306
I	0	-0,437
J	0	-0,973

3.17 Taula – Haizeak sortutako indarra teilatuan 0°-tara

ZONALDEA	HAIZEAREN KARGA HORMETAN 0°-TARA (KN/m ²)	
	BARRURANTZ	KANPORANTZ
A	0	-1,311
B	0	-0,874
C	0	-0,546
D	0,814	0
E	0	-0,427

3.18 Taula – Haizeak sortutako indarra hormetan 0°-tara**Haizea 90°-tara**

ZONALDEA	HAIZEAREN KARGA TEILATUAN 90°-TARA (KN/m ²)	
	BEHERANTZ	GORANTZ
F	0	-1,373
G	0	-1,444
H	0	-0,703
I	0	-0,546

3.19 Taula – Haizeak sortutako indarra teilatuan 90°-tara

ZONALDEA	HAIZEAREN KARGA HORMETAN 90°-TARA (KN/m ²)	
	BARRURANTZ	KANPORANTZ
A	0	-1,311
B	0	-0,874
C	0	-0,546
D	0,765	0
E	0	-0,328

3.20 Taula – Haizeak sortutako indarra hormetan 90°-tara

3.2.3 INDARREN ARTEKO KONBINAKETAK

3.2.1 eta 3.2.2 Ataletan karga ezberdinak aztertu eta kalkulatu dira. Estalkiaren eta egituraren kalkulua egiteko, indar hauen arteko konbinaketak planteatu behar dira. Konbinazio hauek bi egoera ezberdinetan planteatuko dira. Alde batetik Azken Muga Egoera eta bestetik Zerbitzu Muga Egoera.

Azken Muga Egoera eraikina zerbitzuz kanpo uzten dituen egoerak aztertzen ditu, elementuen erresistentzia konprobatuz. Zerbitzu Muga Egoerak eraikinak jasaten dituen deformazioak aztertzen ditu erabiltzaileen erosotasuna eta ongizatea kontuan hartuz.

Egoera hauetan mugaren bat gaindituz gero eraikinak ez dituela beharrezko baldintza guztiak gainditzen esan nahi du eta beharrezkoak diren akzioak hartu behar direla hori zuzentzeko.

3.2.3.1 AZKEN MUGA EGOERA

Azken Muga Egoerak dira, gaindituz gero, pertsonentzako arriskua dagoela kontsideratzen denean, bai egitura zerbitzuz kanpo geratzen delako edo egitura osoa edo zati bat erortzen delako.

Kodigo Teknikoko Eraikinen Segurtasuna Oinarrizko Dokumentuaren 4.2.2 atalean azaltzen denez, indarren konbinazioari dagokionez, hiru konbinaketa posible aztertu daitezke. Kasu honetan bakarrik bat aztertuko da, egoera iraunkor edo aldakor bati dagokion akzioen konbinaketa hain zuzen ere, pretentsaketa ezabatuz.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (22)$$

- $\gamma_{G,j}$: Akzio Iraunkorren segurtasun koefiziente partziala
- $G_{k,j}$: Indar Iraunkorrak
- $\gamma_{Q,1}$: Indar Aldakor Nagusiaren segurtasun koefiziente partziala
- $Q_{k,1}$: Indar Aldakor Nagusia
- $\gamma_{Q,i}$: Indar Aldakor Sekundarioaren segurtasun koefiziente partziala
- $\psi_{0,i}$: Indar Aldakor Sekundarioaren aldiberekotasun koefizientea
- $Q_{k,i}$: Indar Aldakor Sekundarioa

Ondorengo konbinazioak dira sortu daitezkeen konbinaketa posibleak estalkian eragiten dutenen artean, hala nola, Estalkiaren berezko Pisua, Teilatuko Erabilera Gainkarga, Elurra, Haizea (gorantza edo beherantza). Kargak gehitzen dira konbinaketa erreal ezberdinak sortuz.

1. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP}$	Berezko Pisua
2. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_{ER} \cdot G_{ER}$	Berezko Pisua + Erabilera
3. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HBehe}$	Berezko Pisua + Haizea Behera
4. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HGora}$	Berezko Pisua + Haizea Gora
5. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_E \cdot G_E$	Berezko Pisua + Elurra
6. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_E \cdot G_E + \gamma_H \cdot \psi_{0,H} \cdot Q_{HGora}$	Berezko Pisua + Elurra + Haizea Gora
7. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_E \cdot G_E + \gamma_H \cdot \psi_{0,H} \cdot Q_{HBehe}$	Berezko Pisua + Elurra + Haizea Behera
8. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HGora} + \gamma_E \cdot \psi_{0,E} \cdot Q_E$	Berezko Pisua + Haizea Gora + Elurra
9. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HBehe} + \gamma_E \cdot \psi_{0,E} \cdot Q_E$	Berezko Pisua + Haizea Behera + Elurra

3.21 Taula – Indarren konbinaketak

- γ_{BP} : Berezko Pisuaren segurtasun koefiziente partziala
- G_{BP} : Berezko Pisuaren Indarra
- γ_{ER} : Erabilaren segurtasun koefiziente partziala
- G_{ER} : Erabilaren Indarra
- γ_H : Haizearen segurtasun koefiziente partziala
- G_{HGora} : Haizearen Indarra Gorantz
- G_{HBehe} : Haizearen Indarra Beherantz
- γ_E : Elurraren segurtasun koefiziente partziala
- G_E : Elurraren Indarra
- $\psi_{0,E}$: Elurraren Aldiberekotasun Koefizientea
- $\psi_{0,H}$: Haizearen Aldiberekotasun Koefizientea

Normalean teilatuaren erabilera gainkarga ez konkomitantetzat hartzen da beste indar aldakorrek, eguraldi txarra dela eta (haizea edo elurra) operarioak ez baitira teilatura igoko lanak egiteko. Hori dela eta Teilatuko Erabilera bakarrik berezko pisuarekin konbinatzen da.

Segurtasun koefiziente partzialak zehazteko, “Kodigo teknikoa Oinarrizko dokumentua 4.1 Taula” erabili behar da. Bertan segurtasun koefiziente ezberdinak agertzen dira indar ezberdinentzako eta lagungarriak edo kaltegarriak diren arabera.

Indarrak aldakorrak kaltegarriak diren jakiteko lehenik eta behin indar aldakor nagusi bat zehaztu behar da konbinaketarako. Beste indar aldakorrak berarekin batzen badira kaltegarriak kontsideratzen dira, kentzen badira lagungarriak direla kontsideratuko da.

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

3.22 Taula – Segurtasun Koefiziente Partzialak

Karga aldakor bat baino gehiago konbinaketan azaltzen direnean, karga aldakor sekundarioari aldiberetasun koefiziente bat aplikatzen zaio segurtasun koefizientearekin batera. Bi kargak aldi berean gertatzeko probabilitatea kontuan hartzeko aplikatzen da koefiziente hau. Berriz ere “Kodigo Teknikoa Oinarrizko Dokumentua 4.2 Taula”-n aurkitu ditzakegu aldiberekotasun koefizienteak.

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		⁽¹⁾	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

⁽¹⁾ En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

3.23 Taula – Aldiberekotasun Koefizienteak

Koefizienteak ikusita, aurretik planteatu diren konbinaketatik zenbait ezabatu daitezke, kaltegarrienak ez direla argi ikusi daitekeelako.

1. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP}$	Berezko Pisua
2. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_{ER} \cdot G_{ER}$	Berezko Pisua + Erabilera
3. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HBehe}$	Berezko Pisua + Haizea Behera
4. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HGora}$	Berezko Pisua + Haizea Gora
5. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_E \cdot G_E$	Berezko Pisua + Elurra
6. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_E \cdot G_E + \gamma_H \cdot \psi_{0,H} \cdot Q_{HGora}$	Berezko Pisua + Elurra + Haizea Gora
7. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_E \cdot G_E + \gamma_H \cdot \psi_{0,H} \cdot Q_{HBehe}$	Berezko Pisua + Elurra + Haizea Behera
8. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HGora} + \gamma_E \cdot \psi_{0,E} \cdot Q_E$	Berezko Pisua + Haizea Gora + Elurra
9. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HBehe} + \gamma_E \cdot \psi_{0,E} \cdot Q_E$	Berezko Pisua + Haizea Behera + Elurra

3.24 Taula – Indarren konbinaketen Selektzioa

1. Konbinazioa Berezko Pisua bakarrik kontuan hartzen duenez, karga aldakorrik gabe argi dago ez dela kaltegarriena izango. 3. eta 5. Konbinazioen kasuan, karga aldakor bakarra daukatenez erraz esan daiteke ez direla kaltegarrienak izango, indar aldakor bakarra kontuan hartzen dutelako. 4. Konbinazioa indar aldakor bakarra dauka ere, baina kasu hau begiratu beharra dago teilatuko habeetan albo gilbordura sortu dezakeelako beheko hegalean. Aurrerago jorratuko da kasu hau. 6. eta 8. Konbinaketak ezabatu daitezke izan ere haizea gorantz lagungarria da bi kasu hauetan eta ondorioz indar konbinaketa ez da kaltegarriagoa izango.

Lau konbinazio hauek aztertuko dira:

1. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_{ER} \cdot G_{ER}$	Berezko Pisua + Erabilera
2. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HGora}$	Berezko Pisua + Haizea Gora
3. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_E \cdot G_E + \gamma_H \cdot \psi_{0,H} \cdot Q_{HBehe}$	Berezko Pisua + Elurra + Haizea Behera
4. $\gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HBehe} + \gamma_E \cdot \psi_{0,E} \cdot Q_E$	Berezko Pisua + Haizea Behera + Elurra

3.25 Taula – Aztertuko diren indarren konbinaketen

3.2.3.2 ZERBITZU MUGA EGOERA

Zerbitzu Muga Egoerak dira, gaindituz gero, pertsona erabiltzaileen erosotasuna oztopatu, eraikinaren deformazio gehiegizkoak edo eta bibrazioak sor ditzaketenak. Eraikinaren funtzionamenduari ere eragin diezaioke.

Kodigo Teknikoko Eraikinen Segurtasuna Oinarrizko Dokumentuaren 4.3.2 atalean azaltzen denez, iraupen luzeko indarrek sortzen dituzten eraginak, indar ia iraunkorren konbinaketan adierazpen berdinarekin kalkulatzen dira:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (23)$$

- $G_{k,j}$: Indar Iraunkorrak
- $Q_{k,1}$: Indar Aldakor Nagusia
- $\psi_{0,i}$: Indar Aldakor Sekundarioaren aldiberekotasun koefizientea
- $Q_{k,i}$: Indar Aldakor Sekundarioa

(22) ekuazioaren antzekoa da, baina, kasu honetan, segurtasun koefiziente partzialak ez dira kontuan hartzen. Era berean aldiberetasun koefiziente bat aplikatzen zaie karga aldakor sekundarioei.

Elementuek zurruntasun nahikoa izan behar dute eraikinak daukan kanpoko formari eusteko. Zerbitzu Muga Egoeraren helburua da sortzen diren desplazamenduak kalkulatzeko onargarriak izan daitezkeen jakiteko. Desplazamenduak bi norabide ezberdinetan kalkulatu dira. Alde batetik desplazamendu bertikalak (geziak) eta beste alde batetik desplazamendu horizontalak (erortzeak).

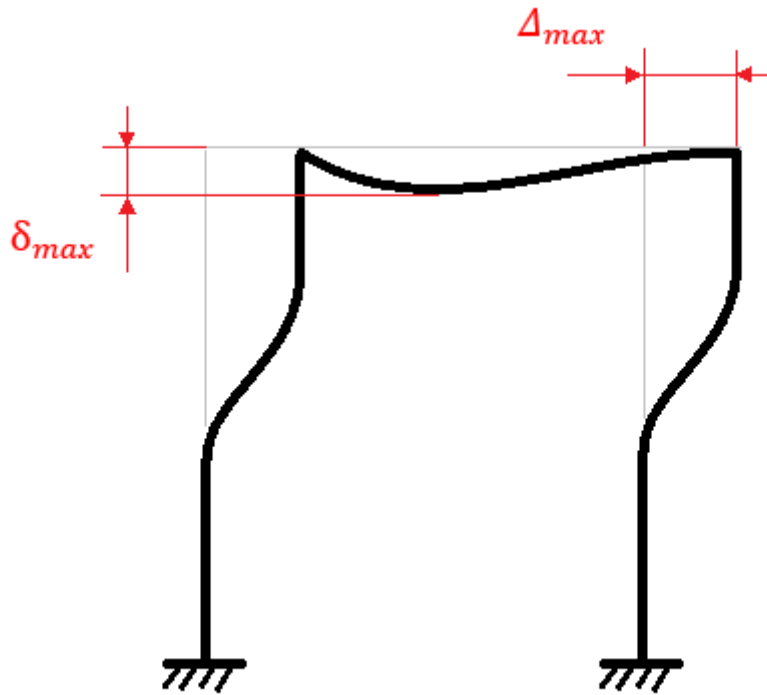
Desplazamenduak onargarriak diren jakiteko hiru baldintza kontuan hartu daitezke. Elementuen integritatea, erabiltzaileen erosotasuna edo obraren itxura. Proiektu honetan elementuen integritatea bakarrik hartuko da kontuan.

Ondorioz, indar karakteristikoaren arteko konbinaketak kalkulatu ostean (23) ekuazioarekin, gezi erlatibo maximoa 1/300 baino txikiagoa izan behar da eta erortze erlatibo maximoa 1/250 baino txikiagoa.

$$Gezia \rightarrow \delta_{max} < \frac{L}{300} \quad (24)$$

$$Erortzea \rightarrow \Delta_{max} < \frac{L}{300} \quad (25)$$

- δ_{max} : Sorten den geziaren balio maximoa
- Δ_{max} : Sorten den erortzearen balio maximoa
- L : Aztertzen den elementuaren luzera



3.11 Irudia – Deformazioen Diagrama

3.3 ERAIKINAREN KALKULUA

Egituran eragiten duten indarrak konbinatuz jasango diren karga totalak kalkulatu egingo dira atal honetan, aurretik zehaztu diren konbinazioak erabilita. Egituraren estalduraren kargak dokumentu honetan kalkulatu dira eta petralen artean ezarri daitezkeen distantzia maximoa adieraziko da.

Egituraren beste elementuak kalkulatzeko, hala nola, petralak, habeak, zutabeak, loturak, zimendapena eta arriostremenduak CYPE programa erabiliko da, kalkuluak eta dimentsionamenduak konplexutasun altua baitauka.

3.3.1 ITXITURA

Dokumentu honetan aurretik aipatu den moduan, egitura ixteko erabiliko den itxitura HIANSA enpresak komertzializatzen duen EASY ALU 5GR panela da, 30mm-ko lodierakoa.

AISLAMIENTO

PANEL NERVADO	TRANSMISIÓN TÉRMICA		PESO
Espesor nominal en mm	K en Kcal/m ² ·h·°C	K en W/m ² ·k	Kg/m ²
30	0.58	0.68	7.41

AISLAMIENTO ACÚSTICO						
Frecuencia Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Aislamiento acústico db	28	22	23	26	35	44

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Espesor nominal	30 mm
Ancho de panel	1000 mm
Peso	7.41 kg/m ²
Volumen	30 m ² /m ³

CARA EXTERIOR
Acero prelacado

CARA INTERIOR
Aluminio centesimal

ANCHO ÚTIL 1000 mm

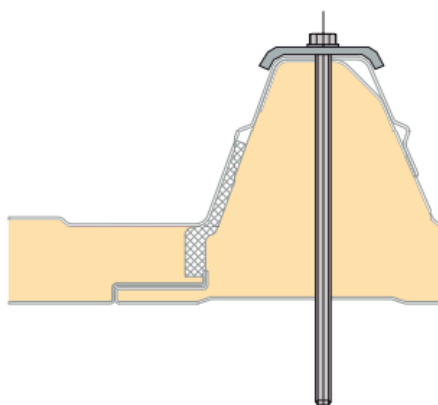
AISLANTE
Poliuretano (PUR) y
Poli-isocianurato (PIR)

ESPESORES (mm)
30

USO
Cubiertas inclinadas

3.26 Taula – EASY ALU 5GR Panelaren espezifikazio teknikoak

Itxituraren lotura teilatuko petraletan torloju baten bidez egingo da, hurrengo diagraman adierazten den moduan.

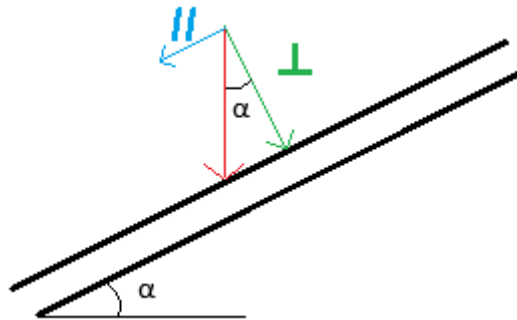


3.12 Irudia – Panelen Lotura

3.3.1.1 ESFORTZUAK

Itxituran agertzen diren esfortzuak lortzeko lehenik eta behin itxituran eragiten dituzten indarrak itxituraren norabide perpendikular eta norabide paraleloan kuantifikatu behar dira. Haizeak eragindako indarra itxiturarekiko perpendikularra da, baina elurra, erabilera proiektzio horizontalean aplikatzen dira. Ondorioz indar hauek lehenengoz estalkiaren gainean proiektatu behar dira eta gero osagai paralelo eta perpendikularretan banatu, baita berezko pisua ere.

Itxiturak teilatuan sortzen duen angelua $\alpha=18,26^\circ$ -koa da horizontalarekiko.



3.13 Irudia – Indarren deskonposizioa

BEREZKO PISUA

Berezko pisua 3.2.1.2 atalean finkatu da. HIANSA fabrikantearen katalogotik lortutako balioa da:

$$q_{estalki} = 7,41 \text{ kg/m}^2 = 0,0741 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

Karga hau osagai paralelo eta perpendikularretan banatu behar da:

$$q_{estalki}^{\perp} = 0,0741 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos(18,26^\circ) = 0,0704 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{estalki}^{\parallel} = 0,0741 \text{ kN/m}^2 \cdot \sin(18,26^\circ) = 0,0232 \text{ kN/m}^2$$

ERABILERA

Teilatuko erabileraren gainkarga 3.2.2.1 atalean finkatu da Kodigo Teknikoan adierazten ziren araei jarraituz. Lortutako balioa honakoa da, estalkiaren gainean proiektatuta:

$$q_{Era Teilatu} = 40 \text{ Kg/m}^2 = 0,4 \text{ kN/m}^2 \quad (5)$$

Berriz ere, karga hau norabide perpendikular eta paraleloan banatu behar da:

$$q_{Era\ Teilatu}^{\perp} = 0,4 \text{ KN/m}^2 \cdot \cos(18,26^{\circ}) = 0,3798 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Era\ Teilatu}^{\parallel} = 0,4 \text{ KN/m}^2 \cdot \sin(18,26^{\circ}) = 0,1253 \text{ kN/m}^2$$

ELURRA

Teilatuko Elurraren gainkarga 3.2.2.3 atalean finkatu da Kodigo Teknikoan adierazten ziren araei jarraituz. Lortutako balioa honakoa da, estalkiaren gainean proiektatuta:

$$q_{elurra} = 0,3 \text{ KN/m}^2 = 0,3 \text{ KN/m}^2 \quad (21)$$

Berriz ere, karga hau norabide perpendikular eta paraleloan banatu behar da:

$$q_{elurra}^{\perp} = 0,3 \text{ KN/m}^2 \cdot \cos(18,26^{\circ}) = 0,2845 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{elurra}^{\parallel} = 0,3 \text{ KN/m}^2 \cdot \sin(18,26^{\circ}) = 0,094 \text{ kN/m}^2$$

HAIZEA

Haizeak sortzen dituen kargak, Kodigo Teknikoan azaltzen diren koefizienteekin kalkulatuak itxiturarekiko perpendikularrak dira. Ondorioz aurretik kalkulatuak izan dira 3.2.2.2 atalean eta 3.17 eta 3.19 taulan bilduta daude.

ZONALDEA	HAIZEAREN KARGA TEILATUAN 0°-TARA (KN/m ²)	
	BEHERANTZ	GORANTZ
F	0,337	-0,888
G	0,337	-0,803
H	0,337	-0,306
I	0	-0,437
J	0	-0,973

3.17 Taula – Haizeak sortutako indarra teilatuan 0°-tara

ZONALDEA	HAIZEAREN KARGA TEILATUAN 90°-TARA (KN/m ²)	
	BEHERANTZ	GORANTZ
F	0	-1,373
G	0	-1,444
H	0	-0,703
I	0	-0,546

3.19 Taula – Haizeak sortutako indarra teilatuan 90°-tara

Hauek dira haizeak sortzen dituen indar handienak teilatuko itxituran:

$$q_{\text{Haizea Gorantz}} = -1,373 \text{ KN/m}^2$$

$$q_{\text{Haizea Beherantz}} = 0,337 \text{ KN/m}^2$$

Norabide paraleloan ez dago haizearen indarririk aplikatuta.

3.3.1.2 ESFORTZUEN KONBINAZIOAK

3.3.1.1 Atalean lortutako kargak konbinazioetan aplikatuko dira. Horrela itxituraren gainean aplikatzen den indar maximoa, bai gorantz eta bai beherantz lortuko dira. Konbinazioak norabide perpendikular eta paraleloan aplikatuko dira, baina garrantzi handiena duen balioa perpendikularra izango da.

$$1. \quad \gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_{ER} \cdot G_{ER} \quad \text{Berezko Pisua + Erabilera}$$

$$\perp 1,35 \cdot 0,0704 + 1,5 \cdot 0,3798 = \mathbf{0,665 \text{ KN/m}^2}$$

$$\parallel 1,35 \cdot 0,0232 + 1,5 \cdot 0,1253 = \mathbf{0,2193 \text{ KN/m}^2}$$

$$2. \quad \gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HGora} \quad \text{Berezko Pisua + Haizea Gora}$$

$$\perp 0,8 \cdot 0,0704 + 1,5 \cdot (-1,373) = \mathbf{-2,003 \text{ KN/m}^2}$$

$$\parallel 0,8 \cdot 0,0232 + 1,5 \cdot 0 = \mathbf{0,019 \text{ KN/m}^2}$$

$$3. \quad \gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_E \cdot G_E + \gamma_H \cdot \psi_{0,H} \cdot Q_{HBehe} \quad \text{Berezko Pisua + Elurra + Haizea Behera}$$

$$\perp 1,35 \cdot 0,0704 + 1,5 \cdot 0,2845 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,337 = \mathbf{0,8251 \text{ KN/m}^2}$$

$$\parallel 1,35 \cdot 0,0232 + 1,5 \cdot 0,094 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0 = \mathbf{0,2193 \text{ KN/m}^2}$$

$$4. \quad \gamma_{BP} \cdot G_{BP} + \gamma_H \cdot G_{HBehe} + \gamma_E \cdot \psi_{0,E} \cdot Q_E \quad \text{Berezko Pisua + Haizea Behera + Elurra}$$

$$\perp 1,35 \cdot 0,0704 + 1,5 \cdot 0,337 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,2845 = \mathbf{0,8139 \text{ KN/m}^2}$$

$$\parallel 1,35 \cdot 0,0232 + 1,5 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,094 = \mathbf{0,1018 \text{ KN/m}^2}$$

3.27 Taula – Teilatuko Itxituraren konbinaketen emaitzak

Ondorioz, teilatuko itxituran sortzen diren karga maximoak, gorantz eta beherantz hauek dira:

$$q_{\text{Max Gora}} = -2,003 \text{ KN/m}^2 = -200,3 \text{ Kg/m}^2$$

$$q_{\text{Max Behera}} = 0,8251 \text{ KN/m}^2 = 82,51 \text{ Kg/m}^2$$

EASY ALU 5GR

30/0.5(kg/m ²)		
2 Vanos		
L	Presión	Succión
1.0	489	516
1.2	337	361
1.4	245	268
1.6	185	207
1.8	144	166
2.0	115	136
2.2	93	114
2.4	77	97
2.6	64	84
2.8	54	74
3.0	46	66
3.2	40	59
3.4	-	53
3.6	-	46
3.8	-	41

3.28 Taula – EASY ALU 5GR Panelaren karga kapazitatea euste distantzia ezberdinentzako

Lortu diren kargak kontuan hartuta 3.27 Taulan ikusi daiteke petralak jarri daitezkeen distantzia maximoa 1,6m dira. Diseinatzailearen konbenientziagatik eta segurtasunari lagundu egiten dionez, teilatuko petralak 1m distantzia maximoarekin kokatuko dira.

3.3.1.3 HORMEN ITXITURA

Egituraren hormetan itxitura kalkulatzeko beharrezkoa da ere. Kasu hau teilatuarena baino azkoz sinpleagoa da bakarrik bi indar agertzen direlako. Alde batetik haizearen indarra eta bestetik panelaren berezko pisua. Gainera, bi indar hauek norabide ezberdinetan ematen dira, haizea norabide perpendikularrean eta berezko pisua norabide paraleloan. Ondorioz konbinazio bakar bat sortu daiteke norabide perpendikularrean, Haizea bider segurtasun koefiziente partziala:

$$\gamma_H \cdot G_{HHorman} \quad (26)$$

Haizeak hormetan sortzen duen indarra aurretik kalkulatu da 3.2.2.2 atalean 3.18 eta 3.20 tauletan bilduta dauden balioekin:

ZONALDEA	HAIZEAREN KARGA HORMETAN 0°-TARA (KN/m ²)	
	BARRURANTZ	KANPORANTZ
A	0	-1,311
B	0	-0,874
C	0	-0,546
D	0,814	0
E	0	-0,427

3.18 Taula – Haizeak sortutako indarra hormetan 0°-tara

ZONALDEA	HAIZEAREN KARGA HORMETAN 90°-TARA (KN/m ²)	
	BARRURANTZ	KANPORANTZ
A	0	-1,311
B	0	-0,874
C	0	-0,546
D	0,765	0
E	0	-0,328

3.20 Taula – Haizeak sortutako indarra hormetan 90°-tara

Indar handiena A zonaldean ematen da, ondorioz indar horrekin planteatuko da haizearen konbinazioa:

$$\gamma_H \cdot G_{HHorman} = 1,5 \cdot (-1,311) \text{ KN/m}^2 = -1,9665 \text{ KN/m}^2 = -196,65 \text{ Kg/m}^2$$

3.27 Taulan adierazten diren balioak kontuan izanda, hormetako petralak bata bestearengandik jarri daitezkeen distantzia maximoa 1,6m dira. Kasu honetan, 1,2m-ko distantziara ipintzea erabaki da, bai segurtasunagatik, bai diseinuaren konbenientziagatik.

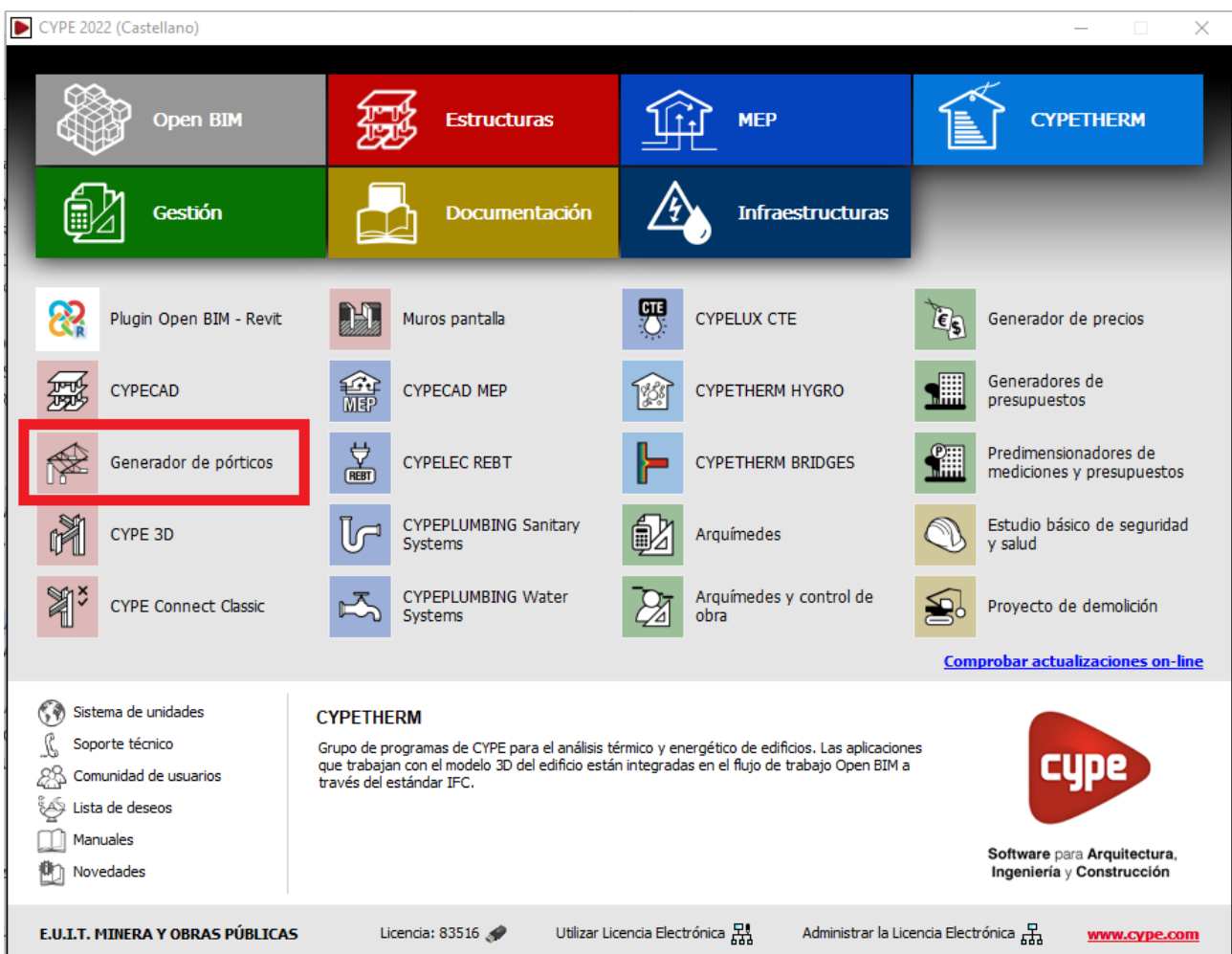
3.3.2 PETRALAK

Egituraren petralak kalkulatzeko CYPE programa erabiliko da, konkretuki “Generador de Porticos” modulua. Bertan egituraren zenbait parametro sartu behar dira eta horrela programak indarrak zehaztu eta onargarriak diren profilak aurkeztuko ditu.

Pausuz pausu azalduko da hurrengo ataletan programan sartu diren parametroak eta zein profil erabaki diren erabiltzea. Gainera sortu diren kalkulu txostenak isladatuko dira.

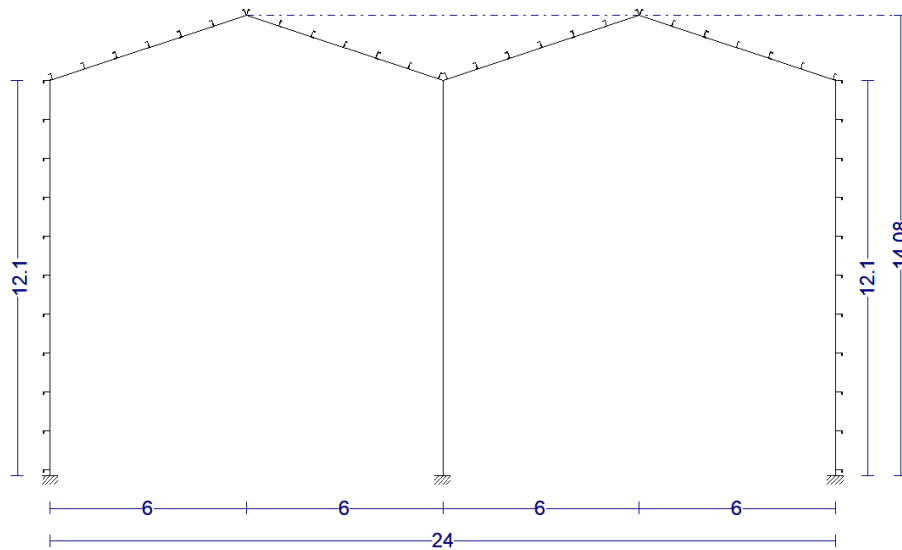
3.3.2.1 CYPE GENERADOR DE PORTICOS

Lehenik eta behin CYPE programako “Generador de Porticos” modulua irekiko da.



3.14 Irudia – CYPE programaren menu nagusia

Behin modulu hori irekita egitura osatzen duten portikoen dimentsio nagusiak sartu behar dira programan.



3.15 Irudia – Portikoen dimentsio nagusiak

Dimentsioak definitu ostean programak beharrezkoak dituen datuak osatu behar dira egituraren gainean eragiten duten indarrak zehazteko, hala nola, egituraren kokalekua, portiko kantitatea eta beraien arteko distantzia, ingurunea, itxituraren pisua, erabilera gaitzera badagoen, haizea eta elurra... Parametro hauek “Datos Generales de la Obra” koadroan osatu behar dira:

Datos generales

Número de vanos: 11

Separación entre pórticos: 6.00 m

Con cerramiento en cubierta
 Peso del cerramiento: 7.41 kg/m²
 Sobrecarga del cerramiento: 40.00 kg/m²

Con cerramiento en laterales
 Peso del cerramiento: 7.41 kg/m²

Con sobrecarga de viento: CTE DB SE-AE (España)

Con sobrecarga de nieve: CTE DB-SE AE (España)

Combinaciones de cargas para cálculo de correas

Estados límite
 E.L.U. de rotura. Acero conformado: CTE DB SE-A
 E.L.U. de rotura. Acero laminado: CTE DB SE-A
 Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m

Desplazamientos
 Acciones características

Categorías de uso
 Acero laminado: CTE DB SE-A
 Acero conformado: CTE DB SE-A
 G1. Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento. No concomitante con el resto de acciones variables

Aceptar Cancelar

3.16 Irudia – Egituraren Datu Orokorrak

Itxituraren pisua eta erabilera gainkarga aurretik 3.2 atalean lortutako datuak dira. Haizea eta Elurra programak berak definitzen ditu. Horretarako 3.14 Irudian kolore gorriko koadroaren barruan dauden botoiak sakatuz hurrengo koadroa azaltzen dira haizea definitzeko:

Normativa para el cálculo de la sobrecarga de viento

España UE Alemania Bélgica Bulgaria Francia Italia Portugal Argelia Maruecos Argentina Brasil Colombia Cuba México Paraguay Perú Venezuela Canadá USA India

CTE DB SE-AE NTE Eurocódigo 1

CTE DB SE-AE
Código Técnico de la Edificación.
Documento Básico Seguridad Estructural - Acciones en la Edificación

Zona eólica

A. Velocidad básica: 26 m/s
 B. Velocidad básica: 27 m/s
 C. Velocidad básica: 29 m/s



Grado de aspereza

Única Según dirección

I II III IV V

Zona urbana, industrial o forestal

Periodo de servicio (años)

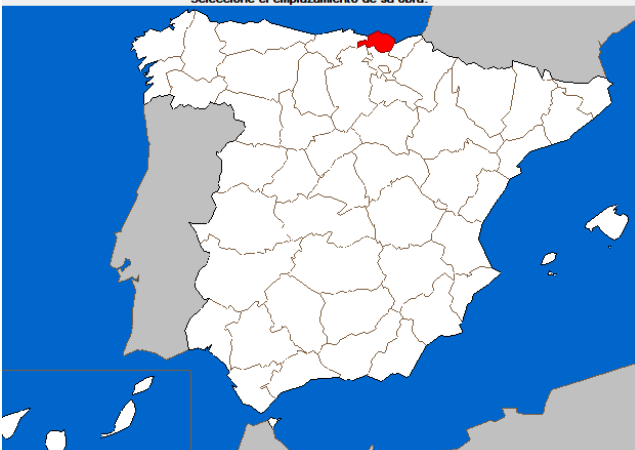
Con huecos

Coefficiente de obstrucción para cubiertas aisladas

3.17 – Irudia Haizearen definizio koadroa

Berdina egiten da elurra definitzeko beste botoia sakatuz:

Seleccione el emplazamiento de su obra.



A	B	D	E	F	G	I	K	L	M	N	O	P	S	T	U	V	Z	🔍
Bakio	Bilbao																	
Balmaseda	Busturia																	
Barakaldo																		
Batika																		
Basauri																		
Bedia																		
Berango																		
Bermeo																		
Bemiatua																		
Beriz																		

Zona de clima invernal

1

3.18 – Kokalekuaren definizioa

Datos del emplazamiento

Zona 1 2 3 4 5 6 7

Altitud topográfica m

Exposición al viento

Protegida Normal Fuertemente expuesta

Si la construcción está protegida de la acción del viento, el valor de la carga de nieve se incrementa en un 20%.

Si se encuentra en un emplazamiento fuertemente expuesto a la acción del viento, el valor de la carga de nieve se reduce en un 20%.

Descripción de la cubierta

Cubierta con resaltos

3.19 Irudia – Parametroen definizioa

Behin datu guztiak definituta daudenean petralen dimentsionamendua egin daiteke programaren bidez.

3.3.2.2 PETRALEN KALKULUA

Petralak itxitura eusten duten elementuak dira. Portikoen planoaren norabide perpendikularrean kokatzen dira eta beraien helburu nagusia itxiturean agertzen diren indarrak portikoetara zuzentzea da.

3.14 Irudian ikusi daitekeenez portiko kopurua eta beraien arteko distantzia definitu da. Beste parametroekin batera, CYPEk jasango dituen indarrak definitu eta beharrezko sekzioa kalkulatu dezake, baina zein profil mota erabiliko den definitu behar da.

UPE motako petralak erabiltzea erabaki da bai teilatuko petraletan zein hormako petraletan materiala S275 altzairua delarik. Teilatuko petralen arteko distantzia 1m-koa izango da eta hormetako petralena 1,2m.

Gezi maximoa 1/300 izango da eta petralen eta portikoko teilatuko habeen arteko lotura zurruna dela suposatzen da, baita hormako petralen eta zutabeen artekoa ere. Gainera petral bakoitza 2 bao hartzen dituela kontuan hartuko da abantaila mekaniko suposatzen duelako.

CYPEn datu hauek sartu behar dira hurrengo koadroetan adierazten den moduan:

Edición de correas de cubierta

Datos de cálculo

Limite flecha: L / 300

Número de vanos: Dos vanos

Tipo de fijación: Fijación rígida

Descripción de correas

Tipo de perfil: UPE 220

Separación: 1 m

Tipo de Acero: S275

Dimensionar

Dimensionar

Dimensionar

Aceptar Cancelar

3.20 Irudia – Teilatuko Petralen datu orokorrak

Edición de correas de laterales

Datos de cálculo

Limite flecha: L / 300

Número de vanos: Dos vanos

Tipo de fijación: Fijación rígida

Descripción de correas

Tipo de perfil: UPE 200

Separación: 1.2 m

Tipo de Acero: S275

Dimensionar

Dimensionar

Dimensionar

Aceptar Cancelar

3.21 Irudia – Hormetako Petralen datu orokorrak

Behin datu hauek sartuta CYPEk ondorengo dimentsionamendu proposamena bueltatzen du teilatuko eta hormen petralentzako:

Nombre	Peso (kg/m ²)	Texto de comprobación
⚠ UPE 120	12.09	Aprovechamiento: 267.66 %
⚠ UPE 140	14.44	Aprovechamiento: 188.16 %
⚠ UPE 160	17.03	Aprovechamiento: 139.84 %
⚠ UPE 180	19.70	Aprovechamiento: 105.28 %
✅ UPE 200	22.77	Aprovechamiento: 82.58 %
✅ UPE 220	26.61	Aprovechamiento: 64.23 %
✅ UPE 240	30.22	Aprovechamiento: 52.27 %
✅ UPE 270	35.17	Aprovechamiento: 41.82 %
✅ UPE 300	44.43	Aprovechamiento: 33.19 %
✅ UPE 330	53.22	Aprovechamiento: 27.74 %

Significado de los iconos

- ⚠ Elemento que no cumple alguna comprobación.
- ✅ Elemento que cumple todas las comprobaciones.

Aceptar Cancelar

3.22 Irudia – Teilatuko Petralen dimentsionamendua

Nombre	Peso (kg/m ²)	Texto de comprobación
⚠ UPE 80	6.61	Aprovechamiento: 614.22 %
⚠ UPE 100	8.18	Aprovechamiento: 346.11 %
⚠ UPE 120	10.07	Aprovechamiento: 221.27 %
⚠ UPE 140	12.04	Aprovechamiento: 153.69 %
⚠ UPE 160	14.20	Aprovechamiento: 117.68 %
✅ UPE 180	16.42	Aprovechamiento: 89.84 %
✅ UPE 200	18.97	Aprovechamiento: 73.65 %
✅ UPE 220	22.18	Aprovechamiento: 60.86 %
✅ UPE 240	25.19	Aprovechamiento: 52.26 %
✅ UPE 270	29.31	Aprovechamiento: 44.77 %

Significado de los iconos

- ⚠ Elemento que no cumple alguna comprobación.
- ✅ Elemento que cumple todas las comprobaciones.

Aceptar Cancelar

3.23 Irudia – Hormetako Petralen dimentsionamendua

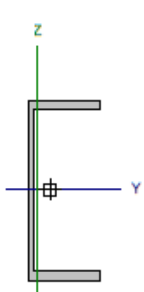
Ikusi daitekeenez UPE 200 Profilak bai teilaturako eta bai hormentzako konprobaketa guztiak betetzen ditu. Ondorioz profil hori aukeratu da egiturarentzako.

Teilatuko petralen konprobaketen kalkuluak:

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
 El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
 Aprovechamiento: 54.46 %

Barra péxima en cubierta

Perfil: UPE 200 Material: S275										
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas						
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽²⁾ (cm ⁴)	Y ₀ ⁽³⁾ (mm)	Z ₀ ⁽³⁾ (mm)	
		7.424, 0.000, 13.610	7.424, 6.000, 13.610	6.000	29.00	1910.00	187.00	8.89	-14.40	0.00
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad										
	Pandeo			Pandeo lateral						
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.				
	β	1.00	1.00	1.00		1.00				
	L _e	6.000	6.000	6.000		6.000				
	C _m	1.000	1.000	1.300		1.300				
	C ₁	-			1.000					
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _e : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico										

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	λ̄	λ _{rel}	N _t	N _c	M _t	N _z	V _z	V _t	M _t V _t	M _t V _z	NM _t	NM _t V _z	M _t	M _t V _z	M _t V _t	
Péxima en cubierta	N.P. ⁽¹⁾	x: 1 m λ _{rel} < λ _{rel,lim} Cumple	N _{te} = 0,00 N.P. ⁽¹⁾	N _{ce} = 0,00 N.P. ⁽¹⁾	x: 3 m η = 52,4	x: 3 m η = 2,0	x: 0 m η = 2,9	x: 0 m η = 0,1	x: 1 m η < 0,1	x: 1 m η < 0,1	x: 3 m η = 54,5	x: 1 m η < 0,1	x: 0 m η = 26,6	x: 0 m η = 3,2	x: 0 m η = 0,1	CUMPLE η = 54,5
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _{rel} : Absolutura del esbeltez inducida por el eje comprimido N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _t : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _t : Resistencia a corte Z V _z : Resistencia a corte Y M _t V _t : Resistencia a momento flexor Y y fuerza cortante Z combinadas M _t V _z : Resistencia a momento flexor Z y fuerza cortante Y combinadas NM _t : Resistencia a flexión y axial combinadas NM _t V _z : Resistencia a flexión, axial y cortante combinadas M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinadas M _t V _t : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinadas x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axial de compresión ni de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay axial de tracción. (3) La comprobación no procede, ya que no hay axial de compresión.																

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

La comprobación no procede, ya que no hay axial de compresión ni de tracción.

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

Se debe satisfacer:

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

29.67 ≤ 252.38 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

t_w: Espesor del alma.

A_w: Área del alma.

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

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

E: Módulo de elasticidad.

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w : 178.00 mm

t_w : 6.00 mm

A_w : 10.68 cm²

A_{fc,ef} : 8.80 cm²

k : 0.30

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

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

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

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

η : 0.153 ✓

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

η : 0.524 ✓

Para flexión positiva:

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

M_{Ed}⁺ : 0.000 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo 7.424, 0.000, 13.610, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 0.898 t·m

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

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

M_{c,Rd} : 5.874 t·m

Donde:

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

Clase : 1

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

W_{pl,y} : 220.00 cm³

Produccido por Inversión Educativa de CYPE

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

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

Siendo:

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

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

$M_{b,Rd} : \underline{1.712} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

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

$W_{pl,y} : \underline{220.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

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

Siendo:

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

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

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

$\chi_{LT} : \underline{0.29}$

Siendo:

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

$\Phi_{LT} : \underline{2.02}$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{1.45}$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$M_{cr} : \underline{2.945} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

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

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

$M_{LTV} : \underline{2.838} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot I_{f,z}^2$$

$M_{LTW} : \underline{0.787} \text{ t}\cdot\text{m}$

Siendo:

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

$W_{el,y} : \underline{191.00} \text{ cm}^3$

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

$I_z : \underline{187.00} \text{ cm}^4$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t : \underline{8.89} \text{ cm}^4$

E: Módulo de elasticidad.

$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$

Prohibido por una versión educativa de CYPE

G: Módulo de elasticidad transversal.

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$i_{r,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

$$L_c^+ : \underline{6.000} \text{ m}$$

$$L_c^- : \underline{6.000} \text{ m}$$

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$$i_{r,z}^+ : \underline{2.65} \text{ cm}$$

$$i_{r,z}^- : \underline{2.65} \text{ cm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

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

Para flexión positiva:

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo 7.424, 0.000, 13.610, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(0^\circ)$ H1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{1.690} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{63.30} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.029} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 7.424, 0.000, 13.610, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.599} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{20.793} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{13.49} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$A : \underline{29.00} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{80.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{11.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{13.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$29.67 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{29.67}$$

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

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

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

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 7.424, 0.000, 13.610, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.023} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{28.238} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{18.32} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{29.00} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{178.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$0.399 \text{ t} \leq 10.397 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.000 m del nudo 7.424, 0.000, 13.610, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.399} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{20.793} \text{ t}$$

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

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

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

$$0.015 \text{ t} \leq 14.119 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.000 m del nudo 7.424, 0.000, 13.610, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.

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

$$V_{Ed} : \frac{0.015}{t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \frac{28.238}{t}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \frac{0.173}{\checkmark}$$

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

$$\eta : \frac{0.537}{\checkmark}$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \frac{0.545}{\checkmark}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo 7.424, 0.000, 13.610, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.

Donde:

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

$$N_{c,Ed} : \frac{0.000}{t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \frac{0.898}{t \cdot m}$$

$$M_{z,Ed} : \frac{0.034}{t \cdot m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

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

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

$$N_{pl,Rd} : \frac{77.423}{t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \frac{5.874}{t \cdot m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \frac{1.690}{t \cdot m}$$

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

A : Área de la sección bruta.

$$A : \frac{29.00}{\text{cm}^2}$$

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \frac{220.00}{\text{cm}^3}$$

$$W_{pl,z} : \frac{63.30}{\text{cm}^3}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \frac{2669.77}{\text{kp/cm}^2}$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \frac{2803.26}{\text{kp/cm}^2}$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

k_y , k_z , $k_{y,LT}$: Coeficientes de interacción.

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

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

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

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

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $C_{m,z} : \underline{1.00}$
 $\chi_y : \underline{0.63}$
 $\chi_z : \underline{0.11}$

χ_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral. $\chi_{LT} : \underline{0.29}$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_y : \underline{0.85}$
 $\bar{\lambda}_z : \underline{2.72}$

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

$\alpha_z : \underline{0.60}$

Producido por www.cype.es para el cliente de CYPE

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.000 m del nudo 7.424, 0.000, 13.610, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad 0.399 \text{ t} \leq 9.632 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,z} : \underline{0.399} \text{ t}$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,z} : \underline{19.263} \text{ t}$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.266} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 7.424, 0.000, 13.610, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.033} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.125} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.08} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.032} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo 7.424, 0.000, 13.610, para la combinación de acciones 0.80*G1 + 0.80*G2 + 1.50*V(0°) H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.599} \text{ t}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.033} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{18.450} \text{ t}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{20.793} \text{ t}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{409.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.08} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo 7.424, 0.000, 13.610, para la combinación de acciones $0.80 \cdot G1 + 0.80 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(0^\circ)$ H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.023} \text{ t}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.033} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{25.056} \text{ t}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{28.238} \text{ t}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{409.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

W_t : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_t : \underline{8.08} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Producido por una versión educativa de CYPE

Geziaren konprobaketa:

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Porcentajes de aprovechamiento:
- Flecha: 82.58 %

Coordenadas del nudo inicial: 11.525, 0.000, 12.257

Coordenadas del nudo final: 11.525, 6.000, 12.257

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis $1.00 \cdot G1 + 1.00 \cdot G2 + 1.00 \cdot Q + 1.00 \cdot N(R)$ 2 a una distancia 3.000 m del origen en el primer vano de la correa.

($I_y = 1910 \text{ cm}^4$) ($I_z = 187 \text{ cm}^4$)

Hormetako petralen konprobaketen kalkuluak:

Comprobación de resistencia

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
provechamiento: 71.23 %

Barra pésima en lateral

Perfil: UPE 200										
Material: S275										
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas						
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽²⁾ (cm ⁴)	Y ₀ ⁽²⁾ (mm)	Z ₀ ⁽²⁾ (mm)	
	0.000, 6.000, 0.600	0.000, 0.000, 0.600	6.000	29.00	1910.00	187.00	8.89	-14.40	0.00	
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de Inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad									
				Pandeo			Pandeo lateral			
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.		
				β	1.00	1.00	1.00		1.00	
				L _K	6.000	6.000	6.000		6.000	
				C _m	1.000	1.000	1.300		1.300	
				C _t	-			1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C _t : Factor de modificación para el momento crítico										

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ̄	λ _{rel}	N _t	N _c	M _t	M _z	V _z	V _t	M _t V _z	M _t V _t	NM _t M _z	NM _t M _z V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _t
pésima en lateral	N.P. ⁽¹⁾	x: 1 m λ _{rel} ≤ λ _{rel,lim} Cumple	N _t = 0,00 N.P. ⁽²⁾	N _c = 0,00 N.P. ⁽³⁾	x: 3 m η = 59.8	x: 3 m η = 11.4	x: 6 m η = 3.3	x: 0 m η = 0.5	x: 1 m η < 0.1	x: 1 m η < 0.1	x: 3 m η = 71.2	x: 1 m η < 0.1	x: 6 m η = 33.1	x: 6 m η = 3.9	x: 6 m η = 0.5	CUMPLE η = 71.2
Notación: λ̄: Limitación de eslabos λ _{rel} : Abotadura del alma indicada por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _t : Resistencia a flexión de Y M _z : Resistencia a flexión de Z V _z : Resistencia a corte Z V _t : Resistencia a corte Y M _t V _z : Resistencia a momento flexor Y y fuerza cortante Z combinados M _t V _t : Resistencia a momento flexor Z y fuerza cortante Y combinados NM _t M _z : Resistencia a flexión y axial combinados NM _t M _z V _z : Resistencia a flexión, axial y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _t : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axial de compresión ni de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axial de tracción. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axial de compresión.																

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

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$29.67 \leq 252.38 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

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

E : Módulo de elasticidad.

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \underline{178.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{10.68} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{8.80} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

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

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

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

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

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

debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.174} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.598} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo 0.000, 6.000, 0.600, para la combinación de acciones $1.35 \cdot G1 + 1.35 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(270^\circ) H1$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{1.024} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{5.874} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

Clase : 1

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

W_{pl,y} : 220.00 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

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

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

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

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

$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

M_{b,Rd} : 1.712 t·m

Donde:

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

W_{pl,y} : 220.00 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

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

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ_{LT}: Factor de reducción por pandeo lateral.

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

χ_{LT} : 0.29

Siendo:

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

Φ_{LT} : 2.02

α_{LT}: Coeficiente de imperfección elástica.

α_{LT} : 0.76

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

λ̄_{LT} : 1.45

M_{cr}: Momento crítico elástico de pandeo lateral.

M_{cr} : 2.945 t·m

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

$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$

Siendo:

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

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

M_{LTV} : 2.838 t·m

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

$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$

M_{LTW} : 0.787 t·m

Siendo:

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

W_{el,y} : 191.00 cm³

Producido por una versión educativa de CYPE

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

I_z : 187.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 8.89 cm⁴

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_c⁺: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

L_c⁺ : 6.000 m

L_c⁻: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

L_c⁻ : 6.000 m

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₁ : 1.00

i_{r,z}⁺: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

i_{r,z}⁺ : 2.65 cm

i_{r,z}⁻ : 2.65 cm

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

Se debe satisfacer:

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

η : 0.114 ✓

Para flexión positiva:

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

M_{Ed}⁺ : 0.000 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo 0.000, 6.000, 0.600, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H1.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 0.192 t·m

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

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

M_{c,Rd} : 1.690 t·m

Donde:

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

Clase : 1

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

W_{pl,z} : 63.30 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

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

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.033} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 0.000, 0.600, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.692} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{20.793} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{13.49} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$A : \underline{29.00} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{80.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{11.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{13.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$29.67 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{29.67}$$

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

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

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

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 6.000, 0.600, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.128} \quad t$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{28.238} \quad t$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{18.32} \quad \text{cm}^2$$

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

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{29.00} \quad \text{cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{178.00} \quad \text{mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.00} \quad \text{mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \quad \text{kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \quad \text{kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$0.462 \quad t \leq 10.397 \quad t \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.000 m del nudo 0.000, 6.000, 0.600, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.462} \quad t$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{20.793} \quad t$$

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

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

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

$0.085 \text{ t} \leq 14.119 \text{ t}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.000 m del nudo 0.000, 6.000, 0.600, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H1.

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

$V_{Ed} : \underline{0.085} \text{ t}$

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

$V_{c,Rd} : \underline{28.238} \text{ t}$

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

Se debe satisfacer:

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

$\eta : \underline{0.288}$ ✓

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

$\eta : \underline{0.667}$ ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$\eta : \underline{0.712}$ ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.000 m del nudo 0.000, 6.000, 0.600, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H1.

Donde:

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

$N_{c,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}$

$M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed} : \underline{1.024} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{z,Ed} : \underline{0.192} \text{ t}\cdot\text{m}$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 1

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

$N_{pl,Rd} : \underline{77.423} \text{ t}$

$M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{pl,Rd,y} : \underline{5.874} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{pl,Rd,z} : \underline{1.690} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

A: Área de la sección bruta.

A : 29.00 cm²

$W_{pl,y}, W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{pl,y} : \underline{220.00} \text{ cm}^3$

$W_{pl,z} : \underline{63.30} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

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

Siendo:

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

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

$k_y, k_z, k_{y,LT}$: Coeficientes de interacción.

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

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

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

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

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

$C_{m,LT} : \underline{1.30}$

χ_y, χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. $\chi_y : \underline{0.63}$

$\chi_z : \underline{0.11}$

χ_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral. $\chi_{LT} : \underline{0.29}$

$\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en $\bar{\lambda}_y : \underline{0.85}$

relación a los ejes Y y Z, respectivamente. $\bar{\lambda}_z : \underline{2.72}$

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

$\alpha_z : \underline{0.60}$

Producido por el sistema de edición de CYPE

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.000 m del nudo 0.000, 6.000, 0.600, para la combinación de acciones $1.35 \cdot G1 + 1.35 \cdot G2 + 1.50 \cdot V(270^\circ) H1$.

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

$0.462 \text{ t} \leq 9.434 \text{ t}$ ✓

Donde:

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

$V_{Ed,z} : \underline{0.462} \text{ t}$

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

$V_{c,Rd,z} : \underline{18.868} \text{ t}$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.331} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.000, 0.000, 0.600, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H1.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.041} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.125} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.08} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.039} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo 0.000, 0.000, 0.600, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.692} \text{ t}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.041} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{17.827} \text{ t}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{20.793} \text{ t}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{510.56} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{8.08} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo 0.000, 0.000, 0.600, para la combinación de acciones 1.35*G1 + 1.35*G2 + 1.50*V(270°) H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.128} \text{ t}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.041} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{24.210} \text{ t}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{28.238} \text{ t}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{510.56} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

W_t : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_t : \underline{8.08} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Producido por una versión educativa de CYPE

Geziaren konprobaketa:

Comprobación de flecha

Comprobación de flecha
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Porcentajes de aprovechamiento:
- Flecha: 73.65 %

Coordenadas del nudo inicial: 0.000, 66.000, 0.600

Coordenadas del nudo final: 0.000, 60.000, 0.600

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis 1.00*G1 + 1.00*G2 + 1.00*V(90°) H1 a una distancia 3.000 m del origen en el primer vano de la correa. (I_v = 1910 cm⁴) (I_z = 187 cm⁴)

3.3.3 PORTIKOAK

Lehenik eta behin “Generador de Porticos” moduluarekin sortu dugun portikoa esportatu behar dugu CYPE 3D-ra. Behin hori eginda modulua ireki egingo da eta egin behar den lehenengo gauza obraren datu orokorrak finkatzea da, arautegia, materialen kalitateak bai profilentzako zein hormigoientzako, zoru mota, akzioak...

Datos generales

Normas: Código Técnico de la Edificación - EHE-08

Perfiles

- Acero laminado: S275
- Acero conformado: S235
- Madera: Aserrada, procedente de coníferas o ...
- Aluminio: EN AW-5083 - F
- Hormigón: HA-25, Yc=1.5

Hormigón armado

- Hormigón para pilares: HA-25, Yc=1.5
- Hormigón para vigas de forjado: HA-25, Yc=1.5
- Hormigón para elementos de cimentación: HA-25, Yc=1.5
- Acero de barras: B 500 S, Ys=1.15
- Características del árido: 30 mm

Acciones

- Con sismo dinámico
- Resistencia al fuego
- Estados límite (combinaciones)
- Hipótesis adicionales
- Cimentación
- Proceso constructivo

Opciones

- Pilares
- Cimentación
- Vigas
- Uniones

Terreno de cimentación

- Verificar deslizamiento de zapatas
- Adherencia (a'): 0.000 kp/cm²
- Ángulo de rozamiento terreno-zapata (d'): 25.00 grados
- Situaciones persistentes: 3.00 kp/cm²
- Situaciones sísmicas y accidentales: 4.50 kp/cm²

Ambiente

- Vigas: Ilb
- Encepados: Ilb

Recubrimientos Memas de acero

Aceptar

3.24 Irudia – CYPE 3D datu orokorren koadroa

Nahitaezkoa da egitura kokatuko den lursailaren azterketa geoteknikoa egitea lurzoruak daukan erresistentzia jakiteko. Hala ere, proiektu honetan ez da azterketa hau burutuko eta suposatuko da zoru hori “graba” motakoa dela.

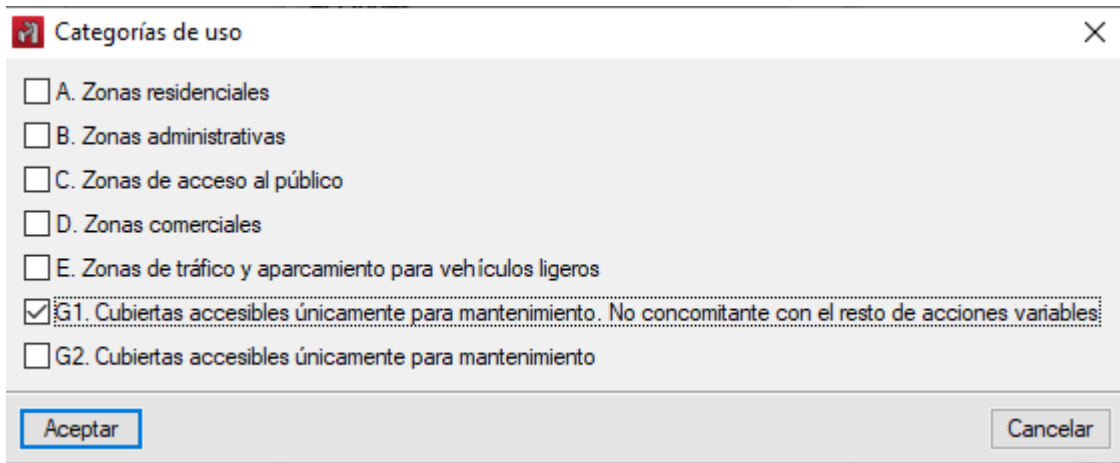
Importar valores usuales de proyecto

Tipo de terreno	S1 (kp/cm ²)	S2 (kp/cm ²)
Grava	3.00	4.50
Arena densa	2.50	3.75
Arena semidensa	2.00	3.00
Arena suelta	1.00	1.50
Limo	1.20	1.80
Arcilla dura	2.50	3.75
Arcilla semidura	1.50	2.25
Arcilla blanda	1.00	1.50

Aceptar Cancelar

3.25 Irudia – CYPE-ren lursail mota ezberdinak

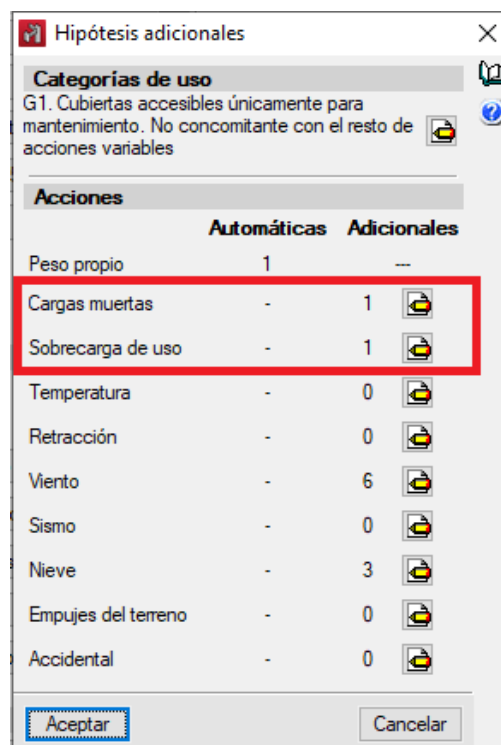
“Acciones” atalean, “generador de porticos”-etik esportatu denez egitura, Haizea, Elurra eta Teiltuaren erabilera badaude sartuta, Hala ere teiltuaren erabileraren gainkarga berriz ere definitu behar da:



3.26 Irudia – Erabileraren Gainkargaren definizioa

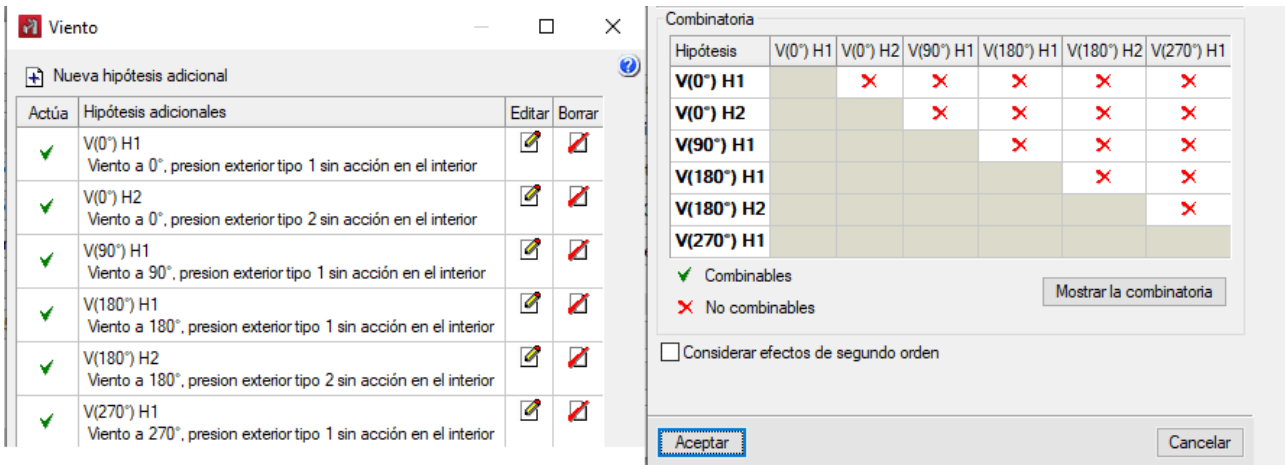
Bi karga hipotesi gehiago definitu behar dira. Alde batetik hildako karga bat, beti egongo dena, forjatu kolaborantearen pisua, eta beste alde batetik karga aldakor berri bat, egituraren erabilera gainkarga.

Bi karga hauen balioak 3.2 Atalean finkatu dira baina CYPEn ez dira orain arte erabili eta ondorioz definitu behar dira programak kontuan hartu ditzan.



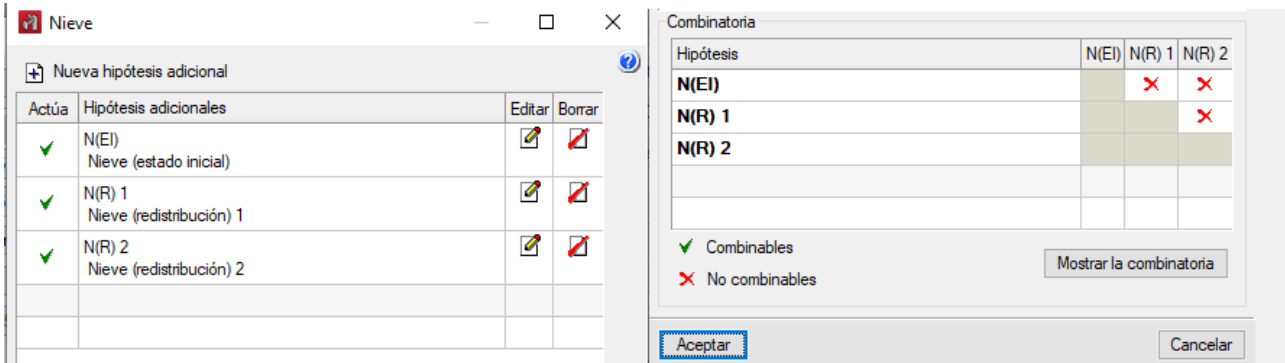
3.27 Irudia – Hipotesi gehigarriak

Haizearentzako 6 hipotesi definitu ditu CYPEK, haizea zonalde ezberdinetatik jotzen duenena kontuan hartzeko eta baita haizea gorantza edo baherantz den. Haizearen kargak ezin dira beste haizeen kargekin konbinatu.



3.28 Irudia – Haizearen konbinazioak

Elurrarentzako hiru konbinazio eratzten ditu CYPEK, Kodigo Teknikoak zehazten duen moduan, Elurra teilatu osoan aplikatu behar da eta Elurra isurialde batean bestean baino karga handiagoa sortzen duen kasua ere kontuan izan behar da, horregatik 3 konbinazio eta ezin dira beraien artean konbinatu.

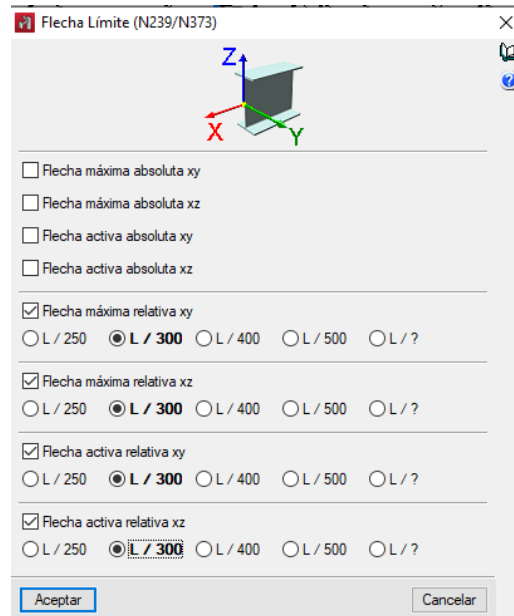


3.29 Irudia – Elurraren konbinazioak

Behin datu orokorrak eta karga guztiak zehaztuta daudenean egituraren barrak sartu daitezke programan. Portikoak jadanik azalduko dira “Generador de Porticos”-etik esportatu delako, hala ere, barra gehiago sartu behar dira, konkretuki portikoen barne habeak eta portikoen artean dauden habetxoak, ez baitira “Generador de Porticos”-ean definitu.

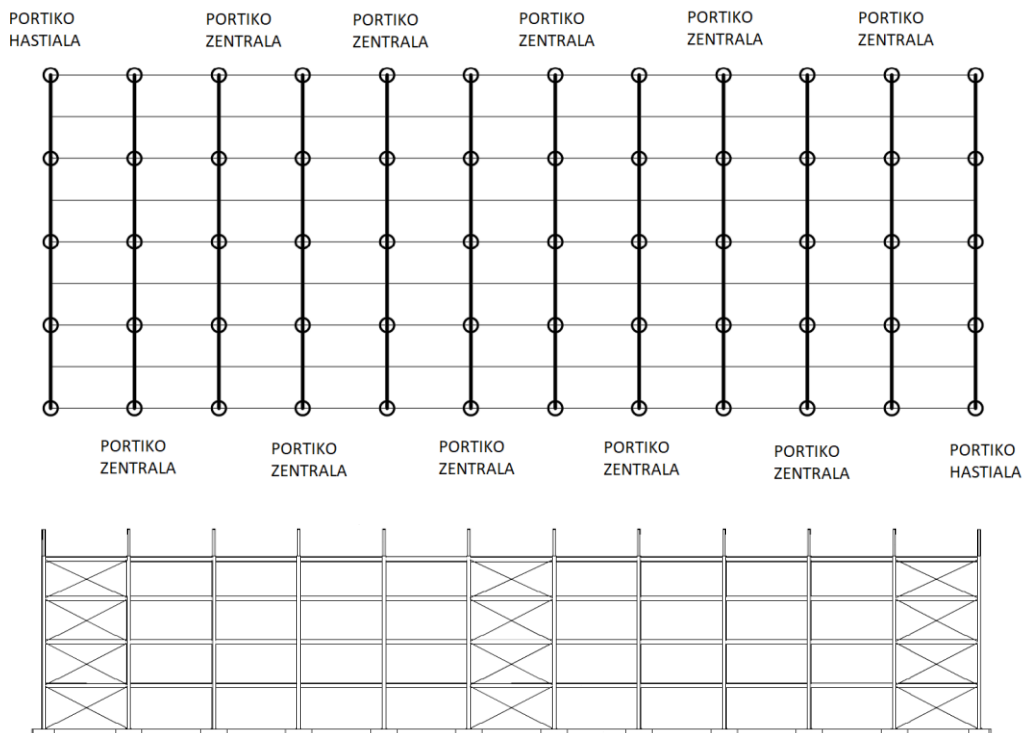
Barrak sartu ondoren, zoruaren berezko pisuaren gailkarga eta zoruaren erabilera gailkarga zehatzu behar da beraien gainean. 3.25 Irudian karga hauen hipotesiak sortu dira baina karga ez da zehaztu.

Zehaztu behar den azkenengo parametroa habeen eta zutabeen gezia da. Horretarako zutabeen eta habeen barra guztiak aukeratu behar dira eta parametro hau zehaztu



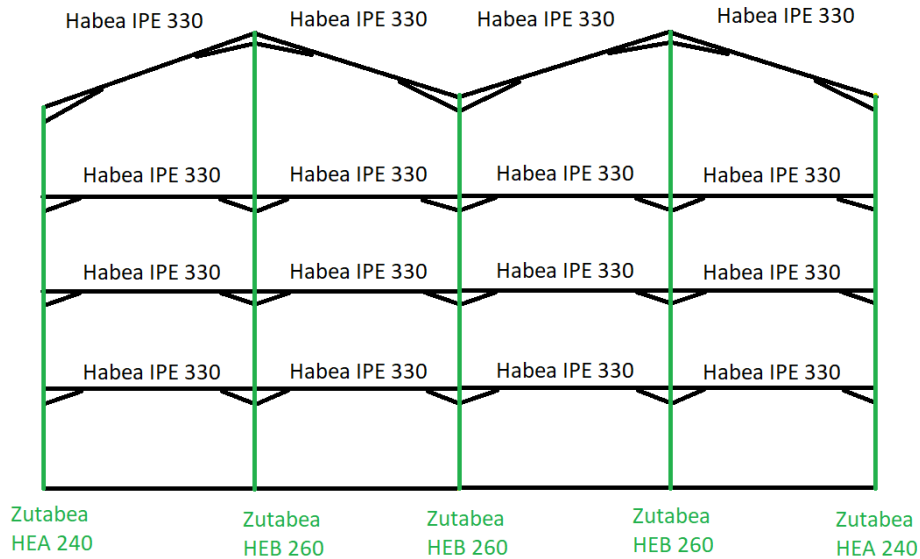
3.30 Irudia – Gezien Definizioa

Egitura 12 Portikok osatzen dute, eta bi taldetan banatuko dira. Muturretako biak Portiko Hastialak izango dira eta erdikoak Portiko Zentralak. Ondorioz, bi portiko osorik kalkulatu behar dira. Portiko mota bietan habeen eta zutabeen arteko loturak zurrunak izango dira.



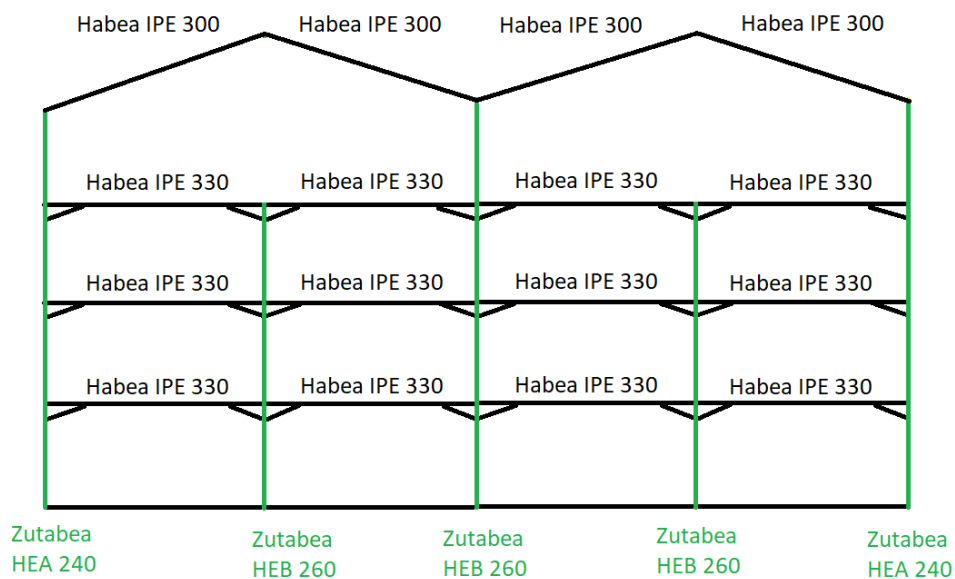
3.31 Irudia – Portikoen Kokalekua

Portiko hastialak 5 zutabe dauzka euskarri moduan. Kanpoaldean dauden bi zutabeak HEA 240 sekzioa erabiliko da eta barnealdean geratzen diren hiru zutabeetan HEB 260 sekzioa. Portikoaren habe guztiak IPE 330 sekzioa izango dute. Portiko hastialaren eta lehen portiko zentralaren artean San Andres gurutzeko arriostamenduak ipiniko dira, diametro 19-ko kableak hain zuzen ere.



3.32 Irudia – Portiko Hastialaren elementu nagusiak

Portiko Zentralak 5 zutabe dauzka euskarri moduan. Kanpoaldean dauden bi zutabeak HEA 240 sekzioa erabiliko da eta barnealdean geratzen diren hiru zutabeetan HEB 260 sekzioa. Portikoaren zorua osatzen duten habeak IPE 330 sekzioa izango dute, teilatua osatzen duten bi habeak IPE 300. 5. Eta 6. Portiko zentralaren artean San Andres gurutzeko arriostamenduak ipiniko dira, diametro 19-ko kableak hain zuzen ere.

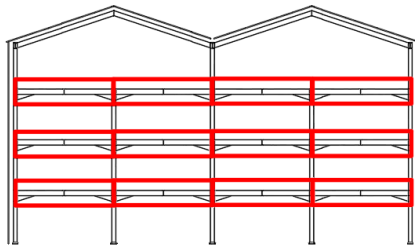


3.33 Irudia – Portiko Zentralaren elementu nagusiak

3.3.3.1 PORTIKO ZENTRALAREN KALKULUA

Aukeratutako profilen konprobazioa, bai Azken Muga Egoera zein Zerbitzu Muga Egoera CYPE-ren CYPE 3D moduluarekin egingo da, barra guztiak onargarriak diren jakiteko. Kasu honetan aukeratutako sekzioak onargarriak dira eta barren kalkuluak honakoak dira:

Portiko Zentralaren Solairuen Habeak (IPE 330)



3.34 Irudia – Portiko Zentralaren Solairuen Habeak

Perfil: IPE 330, Simple con cartelas (Cartela inicial inferior: 1.00 m. Cartela final inferior: 1.00 m.)
Material: Acero (S275)

Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas ⁽¹⁾						
		Área (cm ²)	I _y ⁽²⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽²⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽³⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽⁴⁾ (mm)	z _g ⁽⁴⁾ (mm)	
N291	N422	6.000	101.49	47652.73	1181.49	40.01	0.00	142.32

Notas:
⁽¹⁾ Las características mecánicas y el dibujo mostrados corresponden a la sección inicial del perfil (N291)
⁽²⁾ Inercia respecto al eje indicado
⁽³⁾ Momento de inercia a torsión uniforme
⁽⁴⁾ Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.50	1.00	1.00	1.00
L _K	3.000	3.000	3.000	3.000
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000
C ₁	-		1.000	

Notación:
 β : Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C₁: Factor de modificación para el momento crítico

Barra	COMPROBACIONES (LTE DB SE-A)														Estado	
	λ	λ _{pl}	N _x	N _y	M _x	M _y	V _x	V _y	M _{Vx}	M _{Vy}	NM _x	NM _y V _x V _y	M _t	M _{Vt}		M _{Vt}
N1/N422	x: 0.115 m λ < 2.0 Cumple	x: 0.364 m λ _{pl} ≤ λ _{pl,lim} Cumple	x: 1.116 m η = 1.8	x: 1.114 m η = 2.0	x: 3 m η = 91.5	x: 3 m η = 0.9	x: 1.052 m η = 22.1	x: 1.114 m η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 3 m η = 91.1	η < 0.1	x: 1.114 m η = 1.1	x: 1.052 m η = 12.7	x: 1.114 m η < 0.1	CUMPLE η = 91.5

Notas:
λ: Limitación de esbeltez
λ_{pl}: Abotadura del ala indicada por el ab. comprimido
N: Resistencia a tracción
N_x: Resistencia a compresión
M_x: Resistencia a flexión eje Y
M_y: Resistencia a flexión eje Z
V_x: Resistencia a corte X
V_y: Resistencia a corte Y
M_{Vx}: Resistencia a momento flexor Y y fuerza cortante Z combinadas
M_{Vy}: Resistencia a momento flexor Z y fuerza cortante Y combinadas
NM_x: Resistencia a flexión y axial distribuidas
NM_yV_xV_y: Resistencia a flexión, axial y cortante combinadas
M_t: Resistencia a torsión
M_{Vt}: Resistencia a cortante Z y momento flexor distribuidas
M_{Vt}: Resistencia a cortante Y y momento flexor distribuidas
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Producido por una versión educativa de CYPE

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

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

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

$\bar{\lambda}$: 1.02 ✓

Donde:

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

Clase : 3

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

A : 103.76 cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 277.382 t

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

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

N_{cr,y} : 12502.778 t

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

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

N_{cr,z} : 277.382 t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,t} : 416.997 t

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

Donde:

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

I_y : 53259.73 cm⁴

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

I_z : 1181.60 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 40.44 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 789779.59 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

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

L_{ky} : 3.000 m

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

L_{kz} : 3.000 m

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

L_{kt} : 3.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 22.91 cm

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

Siendo:

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

i_y : 22.66 cm

i_z : 3.37 cm

y₀, z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Producido por una versión educativa de CYPE

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

Se debe satisfacer:

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

73.21 ≤ 342.73 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 549.08 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 7.50 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 41.18 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 18.40 cm²

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

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

η : 0.018 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.116 m del nudo N291, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(90°)H1+0.75·N(EI).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 2.944 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

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

N_{t,Rd} : 167.128 t

Donde:

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

A : 62.60 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

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

Siendo:

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

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

Se debe satisfacer:

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

η : 0.013 ✓

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

η : 0.020 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.114 m del nudo N291, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·V(0°)H1.

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

N_{c,Ed} : 2.098 t

Producido por una versión educativa de CYPE

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{167.128} \text{ t}$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

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

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{102.551} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_y : \underline{0.99}$$

$$\chi_z : \underline{0.61}$$

$$\chi_T : \underline{0.78}$$

Siendo:

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

$$\phi_y : \underline{0.54}$$

$$\phi_z : \underline{1.11}$$

$$\phi_T : \underline{0.84}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

$$\alpha_z : \underline{0.34}$$

$$\alpha_T : \underline{0.34}$$

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

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.25}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.97}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.71}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{184.984} \text{ t}$$

$N_{\alpha,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{\alpha,y} : \underline{2763.020} \text{ t}$$

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

$$N_{\alpha,z} : \underline{184.984} \text{ t}$$

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

$$N_{\alpha,T} : \underline{348.364} \text{ t}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.668} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.915} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N422, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{14.340} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{21.465} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)El momento flector resistente de cálculo $M_{b,Rd}$ viene dado por:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd} : \underline{15.680} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

 χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

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

$$\chi_{LT} : \underline{0.73}$$

Siendo:

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

$$\Phi_{LT} : \underline{0.91}$$

 α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_{LT} : \underline{0.34}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.79}$$

 M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{36.099} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

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

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

$$M_{LTV} : \underline{20.702} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{r,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{29.573} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

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

$$W_{el,y} : \underline{713.33} \text{ cm}^3$$

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

$$I_z : \underline{788.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{28.06} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{3.000} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{3.000} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{r,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{r,z}^+ : \underline{4.20} \text{ cm}$$

$$i_{r,z}^- : \underline{4.20} \text{ cm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N422, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·V(0°)H2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.030} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N422, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.039} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{4.111} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{154.00} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.221} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.052 m del nudo N291, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

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

$$V_{Ed} : \underline{9.217} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{41.700} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{27.05} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$36.13 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{36.13}$$

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

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.114 m del nudo N291, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.012} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{61.001} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{39.58} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{307.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$9.299 \text{ t} \leq 37.281 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

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

$$V_{Ed} : \underline{9.299} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{74.561} \text{ t}$$

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

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

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

$$0.012 \text{ t} \leq 44.681 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.012} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{89.362} \text{ t}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.672} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.911} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N422, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

Donde:

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **N_{t,Ed}** : 0.627 t
M_{y,Ed}, **M_{z,Ed}**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}⁺** : 14.340 t·m
M_{z,Ed}⁺ : 0.001 t·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a tracción. **N_{pl,Rd}** : 167.128 t
M_{pl,Rd,y}, **M_{pl,Rd,z}**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 21.465 t·m
M_{pl,Rd,z} : 4.111 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

M_{ef,Ed}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{ef,Ed}** : 14.276 t·m

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

σ_{com,Ed}: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida. **σ_{com,Ed}** : 1775.63 kp/cm²

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

W_{y,com}: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y. **W_{y,com}** : 804.00 cm³

A: Área de la sección bruta. **A** : 62.60 cm²

M_{b,Rd,y}: Momento flector resistente de cálculo. **M_{b,Rd,y}** : 15.680 t·m

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2} \quad 9.299 \text{ t} \leq 37.281 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

V_{Ed,z}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed,z}** : 9.299 t

V_{c,Rd,z}: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. **V_{c,Rd,z}** : 74.561 t

Producido por una versión educativa de BYPE

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.114 m del nudo N291, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H1.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.004} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.376} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{24.40} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.127} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.052 m del nudo N291, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2+0.75·N(R)2.

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

$$V_{Ed} : \underline{5.283} \text{ t}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{41.668} \text{ t}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{41.700} \text{ t}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{2.94} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{31.69} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.114 m del nudo N291, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.012} \text{ t}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.004} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{60.738} \text{ t}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{61.001} \text{ t}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{16.53} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

W_t : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_t : \underline{24.40} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

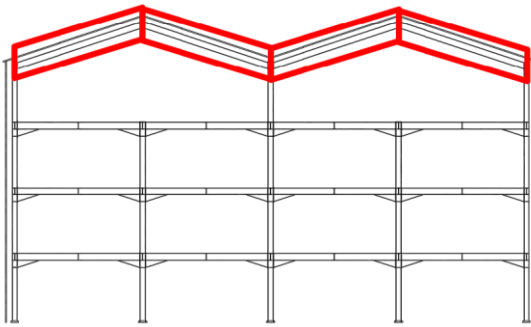
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Portiko Zentralaren Teilatuko Habeak (IPE 300)



3.35 Irudia – Portiko Zentralaren Teiltuaren Habeak

Perfil: IPE 300 Material: Acero (S275)		Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas		
Inicial	Final	Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)		I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N10	N13	6.318	53.80	8356.00	604.00	19.92	
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	0.84	0.78	1.00	1.00		
	L _K	5.325	4.951	6.318	6.318		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000				
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	λ	λ_{lim}	N _y	N _z	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y	NM _z V _y V _z	M _t		M _y V _t	M _z V _t
10/N13	$\lambda < 2.0$ Cumple	$\lambda_{lim} \leq \lambda_{lim,adm}$ Cumple	X: 6.318 m $\eta = 2.7$	X: 0.122 m $\eta = 15.4$	X: 0.122 m $\eta = 69.6$	X: 0.122 m $\eta = 0.3$	X: 0.122 m $\eta = 8.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	X: 0.122 m $\eta = 81.4$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.4$	X: 0.122 m $\eta = 4.4$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 83.4$
Notación: λ : Limitación de esbeltez λ_{lim} : Abstracción del alma inducida por el ala comprimida N _y : Resistencia a tracción N _z : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z M _y V _z : Resistencia a momento flexor Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flexor Z y fuerza cortante Y combinados NM _y : Resistencia a flexión y axial combinados NM _z V _y V _z : Resistencia a flexión, axial y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _t : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados M _z V _t : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados η : Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Producido por una versión educativa de CYPE

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

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

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

$\bar{\lambda}$: 1.83 ✓

Donde:

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

Clase : 2

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

A : 53.80 cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 45.008 t

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

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

N_{cr,y} : 720.141 t

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

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

N_{cr,z} : 45.008 t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,t} : 138.800 t

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

Donde:

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

I_y : 8356.00 cm⁴

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

I_z : 604.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 19.92 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 126000.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

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

L_{ky} : 4.951 m

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

L_{kz} : 5.325 m

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

L_{kt} : 6.318 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 12.91 cm

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

Siendo:

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

i_y : 12.46 cm

i_z : 3.35 cm

y₀, z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Producido por una versión educativa de CYPE

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

Se debe satisfacer:

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

$$39.24 \leq 254.33 \quad \checkmark$$

Donde:

 h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{278.60} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

 A_w : Área del alma.

$$A_w : \underline{19.78} \text{ cm}^2$$

 $A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{16.05} \text{ cm}^2$$

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

$$k : \underline{0.30}$$

 E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

 f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.027} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

 $N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{3.855} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

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

$$N_{t,Rd} : \underline{143.634} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.038} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.154} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.122 m del nudo N10, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·N(EI).

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

$$N_{c,Ed} : \underline{5.424} \text{ t}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{143.634} \text{ t}$$

Donde:

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

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

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

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$N_{b,Rd} : \underline{35.161} \text{ t}$$

Donde:

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

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

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

$$\chi_y : \underline{0.94}$$

$$\chi_z : \underline{0.24}$$

$$\chi_T : \underline{0.57}$$

Siendo:

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

$$\phi_y : \underline{0.63}$$

$$\phi_z : \underline{2.45}$$

$$\phi_T : \underline{1.19}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

$$\alpha_z : \underline{0.34}$$

$$\alpha_T : \underline{0.34}$$

λ̄: Esbeltez reducida.

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

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.46}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.83}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{1.04}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{45.008} \text{ t}$$

N_{σ,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{\sigma,y} : \underline{720.141} \text{ t}$$

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

$$N_{\sigma,z} : \underline{45.008} \text{ t}$$

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

$$N_{\sigma,T} : \underline{138.800} \text{ t}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.280} \quad \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.696} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.122 m del nudo N10, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·V(0°)H1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{3.575} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.122 m del nudo N10, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·N(R)2.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{4.699} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{16.766} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)El momento flector resistente de cálculo $M_{b,Rd}$ viene dado por:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd} : \underline{6.748} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$W_{pl,y} : \underline{628.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

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

$$\chi_{LT} : \underline{0.40}$$

Siendo:

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

$$\Phi_{LT} : \underline{1.66}$$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_{LT} : \underline{0.21}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{1.43}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{8.581} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

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

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

$$M_{LTV} : \underline{7.251} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{t,z}^2$$

$$M_{LTW} : \underline{4.588} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

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

$$W_{el,y} : \underline{557.07} \text{ cm}^3$$

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

$$I_z : \underline{604.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{19.92} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{6.318} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{6.318} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{t,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{t,z}^+ : \underline{3.94} \text{ cm}$$

$$i_{t,z}^- : \underline{3.94} \text{ cm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.122 m del nudo N10, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.010} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.122 m del nudo N10, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H1.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.010} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{3.337} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{125.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.081} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.122 m del nudo N10, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H2+1.5·N(R)2.

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

$$V_{Ed} : \underline{3.221} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{25.67} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{150.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{10.70} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{15.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$35.01 < \underline{64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{35.01}$$

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

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.001} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{34.02} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{53.80} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{278.60} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.10} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$3.221 \text{ t} \leq 19.784 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(R)2$.

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

$$V_{Ed} : \underline{3.221} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$$

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

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

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

$$0.001 \text{ t} \leq 26.219 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.001} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.317} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.743} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.834} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.122 m del nudo N10, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·N(R)2.

Donde:

N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : <u>5.323</u> t
M_{y,Ed} , M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} : <u>4.699</u> t·m
	M_{z,Ed} : <u>0.000</u> t·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>143.634</u> t
M_{pl,Rd,y} , M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : <u>16.766</u> t·m
	M_{pl,Rd,z} : <u>3.337</u> t·m

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

A : Área de la sección bruta.	A : <u>53.80</u> cm ²
W_{pl,y} , W_{pl,z} : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	W_{pl,y} : <u>628.00</u> cm ³
	W_{pl,z} : <u>125.00</u> cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2669.77</u> kp/cm ²
f_{yd} = f _y /γ _{m1}	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>2803.26</u> kp/cm ²
γ_{m1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{m1} : <u>1.05</u>

k_y, **k_z**, **k_{y,LT}**: Coeficientes de interacción.

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

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.21}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_{y,LT} : \underline{0.98}$$

C_{m,y}, **C_{m,z}**, **C_{m,LT}**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y} : <u>1.00</u>
C_{m,z} : <u>1.00</u>
C_{m,LT} : <u>1.00</u>

χ_y, **χ_z**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : <u>0.94</u>
χ_z : <u>0.24</u>

χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

χ_{LT} : 0.40

λ̄_y, **λ̄_z**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

λ̄_y : <u>0.46</u>
λ̄_z : <u>1.83</u>

α_y, **α_z**: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : <u>0.60</u>
α_z : <u>0.60</u>

Producido por una versión educativa de CYPE

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(R)2$.

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

$$3.221 \text{ t} \leq 19.784 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{3.221}{t}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{39.567}{t}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$.

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.287} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{18.62} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.044} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.122 m del nudo N10, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(270°)H1+1.5·N(R)2.

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

$$V_{Ed} : \underline{1.745} \text{ t}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{39.530} \text{ t}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{39.567} \text{ t}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{3.62} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

W_t : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_t : \underline{18.62} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.001} \text{ t}$$

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

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{52.355} \text{ t}$$

Donde:

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

$$V_{pl,Rd} : \underline{52.437} \text{ t}$$

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

$$\tau_{T,Ed} : \underline{6.04} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{18.62} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

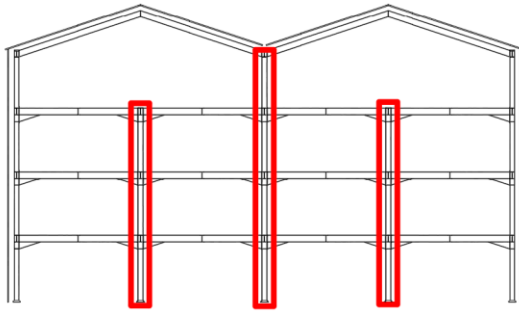
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Portiko Zentralaren Zutabe Zentralak (HEB 260)



3.36 Irudia – Portiko Zentralaren Zutabe Zentralak

Perfil: HE 260 B Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N101	N292	3.100	118.40	14920.00	5135.00	126.67
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo			Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	1.20	1.00	1.00	1.00		
	L _x	3.720	3.100	3.100	3.100		
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
	C _t	-			1.000		
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _x : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C _t : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ	λ_w	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _t V _z		M _t V _y
D1/N292	$\lambda < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,lim}$ Cumple	N _{ex} = 0,00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 50.7$	x: 0 m $\eta = 19.7$	x: 0 m $\eta = 15.5$	$\eta = 6.1$	$\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 54.3$	$\eta < 0.1$	M _{ex} = 0,00 N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽³⁾	CUMPLE $\eta = 54.3$
Definición: λ : Limitación de esbeltez λ_w : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N: Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z M _y V _z : Resistencia a momento factor Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento factor Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽³⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

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

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

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

$\bar{\lambda}$: 0.64 ✓

Donde:

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

Clase : 1

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

A : 118.40 cm²

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

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 783.979 t

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

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

N_{cr,y} : 3280.163 t

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

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

N_{cr,z} : 783.979 t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 1595.734 t

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

Donde:

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

I_y : 14920.00 cm⁴

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

I_z : 5135.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 126.67 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 753700.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

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

L_{ky} : 3.100 m

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

L_{kz} : 3.720 m

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

L_{kt} : 3.100 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 13.01 cm

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

Siendo:

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

i_y : 11.23 cm

i_z : 6.59 cm

y₀ , **z₀:** Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Producido por una versión educativa de CYPE

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 22.50 \leq 167.18 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>225.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>10.00</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>22.50</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>45.50</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2701.33</u> kp/cm ²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

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

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

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.386} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{d,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.507} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N101, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 117.659 t

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd} : \underline{304.607} \text{ t}$$

Donde:

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

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 118.40 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

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

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 2701.33 kp/cm²

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

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

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{232.172} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 118.40 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

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

Siendo:

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

α : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

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

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

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

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$\chi_y : \underline{0.96}$$

$$\chi_z : \underline{0.76}$$

$$\chi_T : \underline{0.87}$$

$$\phi_y : \underline{0.57}$$

$$\phi_z : \underline{0.81}$$

$$\phi_T : \underline{0.66}$$

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.31}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.64}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.45}$$

$$N_{cr} : \underline{783.979} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{3280.163} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{783.979} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{1595.734} \text{ t}$$

Producción de una versión educativa de CYPE

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.185} \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.197} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N101, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{5.379} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N101, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

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

$$M_{Ed}^- : \underline{6.095} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{33.008} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$W_{pl,y} : \underline{1283.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

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

Siendo:

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

$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

$M_{b,Rd} : \underline{30.989} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

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

$W_{pl,y} : \underline{1283.00} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$

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

Siendo:

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

$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

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

$\chi_{LT} : \underline{0.94}$

Siendo:

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

$\Phi_{LT} : \underline{0.63}$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_{LT} : \underline{0.21}$

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

$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.45}$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$M_{cr} : \underline{170.458} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$

Siendo:

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

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

$M_{LTV} : \underline{108.662} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{r,z}^2$$

$M_{LTW} : \underline{131.334} \text{ t}\cdot\text{m}$

Siendo:

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

$W_{el,y} : \underline{1147.69} \text{ cm}^3$

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

$I_z : \underline{5135.00} \text{ cm}^4$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t : \underline{126.67} \text{ cm}^4$

E : Módulo de elasticidad.

$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$

L_c^* : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$L_c^* : \underline{3.100} \text{ m}$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$L_c^- : \underline{3.100} \text{ m}$

Procedido por una versión educativa de CYPE

C₁: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C₁ : 1.00

i_{r,z}: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

i_{r,z}⁺ : 7.21 cm

i_{r,z}⁻ : 7.21 cm

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

Se debe satisfacer:

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

η : 0.155 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N101, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·V(90°)H1.

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

M_{Ed}⁺ : 2.409 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N101, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H1.

M_{Ed}⁻: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}⁻ : 2.253 t·m

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

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

M_{c,Rd} : 15.493 t·m

Donde:

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

Clase : 1

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

W_{pl,z} : 602.20 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

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

Siendo:

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

f_y : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Producido por una versión educativa de CYPE

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

Se debe satisfacer:

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

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$. V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.426} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{55.775} \text{ t}$$

Donde:

 A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{37.55} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$A : \underline{118.40} \text{ cm}^2$$

 b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{260.00} \text{ mm}$$

 t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{17.50} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

 r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{24.00} \text{ mm}$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$17.70 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

 λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{17.70}$$

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

 $\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

 ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

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

Siendo:

 f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.508} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{142.444} \text{ t}$$

Donde:

 A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{95.90} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

 A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{118.40} \text{ cm}^2$$

 d : Altura del alma.

$$d : \underline{225.00} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$3.426 \text{ t} \leq 27.887 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

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

$$V_{Ed} : \underline{3.426} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{55.775} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

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

$$0.508 \text{ t} \leq 71.222 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

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

$$V_{Ed} : \underline{0.508} \text{ t}$$

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

$$V_{c,Rd} : \underline{142.444} \text{ t}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.422} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.442} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.543} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N101, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

Donde:

N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : <u>117.659</u> t
M_{y,Ed} , M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} : <u>1.167</u> t·m
	M_{z,Ed} : <u>0.000</u> t·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>304.607</u> t
M_{pl,Rd,y} , M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : <u>33.008</u> t·m
	M_{pl,Rd,z} : <u>15.493</u> t·m

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

A : Área de la sección bruta.	A : <u>118.40</u> cm ²
W_{pl,y} , W_{pl,z} : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	W_{pl,y} : <u>1283.00</u> cm ³
	W_{pl,z} : <u>602.20</u> cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2572.69</u> kp/cm ²
f_{yd} = f _y /γ _{M1}	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>2701.33</u> kp/cm ²
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M1} : <u>1.05</u>

k_y, **k_z**, **k_{y,LT}**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.05}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.34}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_{y,LT} : \underline{0.96}$$

C_{m,y} , C_{m,z} , C_{m,LT} : Factores de momento flector uniforme equivalente.	C_{m,y} : <u>1.00</u>
	C_{m,z} : <u>1.00</u>
	C_{m,LT} : <u>1.00</u>

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	χ_y : <u>0.96</u>
	χ_z : <u>0.76</u>

χ_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.	χ_{LT} : <u>0.94</u>
--	-------------------------------------

λ̄_y , λ̄_z : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	λ̄_y : <u>0.31</u>
	λ̄_z : <u>0.64</u>

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	α_y : <u>0.60</u>
--	------------------------------------

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

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

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

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

$$3.426 \text{ t} \leq 27.887 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

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

$$V_{Ed,z} : \frac{3.426}{t}$$

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

$$V_{c,Rd,z} : \frac{55.775}{t}$$

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

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

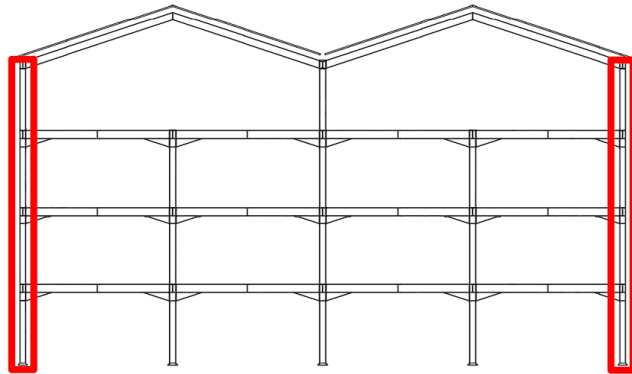
Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

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

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

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

Portiko Zentralaren Alboko Zutabeak (HEA 240)



3.37 Irudia – Portiko Zentralaren Alboko Zutabeak

Perfil: HE 240 A Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N9	N291	3.100	76.80	7763.00	2769.00	42.14
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β		1.20	1.00	1.00	1.00	
	L _K		3.720	3.100	3.100	3.100	
	C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-	-	-	1.000	-	
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_m	N _t	N _c	M _t	M _z	V _z	V _y	M _t V _z	M _z V _y	NM _t N _z	NM _t M _z V _z	M _t	M _z V _z		M _t V _y
N291	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_m \leq \lambda_{m,rel}$ Cumple	N _t = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 45.0$	x: 2.6 m $\eta = 30.2$	x: 0 m $\eta = 5.6$	x: 0 m $\eta = 9.7$	$\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 2.6 m $\eta = 73.1$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 9.7$	$\eta = 0.2$	CUMPLE $\eta = 73.1$
Notación: $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_m : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _t : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _t V _z : Resistencia a momento flexor Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flexor Z y fuerza cortante Y combinados NM _t N _z : Resistencia a flexión y axial combinados NM _t M _z V _z : Resistencia a flexión, axial y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _z V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
(1) Comprobaciones que no proceden (N.P.): (2) La comprobación no procede, ya que no hay axial de tracción.																

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

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

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

$\bar{\lambda} : \underline{0.71} \checkmark$

Donde:

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

Clase : 1

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

A : 76.80 cm²

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

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 422.753 t

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

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

N_{cr,y} : 1706.696 t

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

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

N_{cr,z} : 422.753 t

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

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 780.362 t

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

Donde:

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

I_y : 7763.00 cm⁴

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

I_z : 2769.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 42.14 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 328500.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

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

L_{ky} : 3.100 m

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

L_{kz} : 3.720 m

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

L_{kt} : 3.100 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 11.71 cm

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

Siendo:

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

i_y : 10.05 cm

i_z : 6.00 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Producido por una versión educativa de CYPE

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

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}} \quad 27.47 \leq 167.79 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w : <u>206.00</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>7.50</u> mm
A_w : Área del alma.	A_w : <u>15.45</u> cm ²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$: <u>28.80</u> cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k : <u>0.30</u>
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} : <u>2803.26</u> kp/cm ²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

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

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

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

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.323} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.450} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. $N_{c,Ed}$: 66.142 t

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

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad N_{c,Rd} : \underline{205.039} \text{ t}$$

Donde:

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

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 76.80 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2669.77 kp/cm²

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

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : 1.05

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

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

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad N_{b,Rd} : \underline{146.857} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 76.80 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

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

Siendo:

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

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

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

Siendo:

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

α : Coeficiente de imperfección elástica.

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

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

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

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

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

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

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$\chi_y : \underline{0.94}$$

$$\chi_x : \underline{0.72}$$

$$\chi_T : \underline{0.83}$$

$$\phi_y : \underline{0.59}$$

$$\phi_x : \underline{0.88}$$

$$\phi_T : \underline{0.72}$$

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_x : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.36}$$

$$\bar{\lambda}_x : \underline{0.71}$$

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

$$N_{cr} : \underline{422.753} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{1706.696} \text{ t}$$

$$N_{cr,x} : \underline{422.753} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{780.362} \text{ t}$$

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

debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.278} \checkmark$$

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

$$\eta : \underline{0.302} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.600 m del nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{5.531} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{19.879} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,y} : \underline{744.60} \text{ cm}^3$$

Producción por una versión educativa de CYPE

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd} : \underline{18.306} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$W_{pl,y} : \underline{744.60} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

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

$$\chi_{LT} : \underline{0.92}$$

Siendo:

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

$$\Phi_{LT} : \underline{0.66}$$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_{LT} : \underline{0.21}$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.51}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{79.967} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$$

Siendo:

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

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

$$M_{LTV} : \underline{46.024} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTW} : \underline{65.395} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

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

$$W_{el,y} : \underline{675.04} \text{ cm}^3$$

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

$$I_z : \underline{2769.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{42.14} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^* : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^* : \underline{3.100} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{3.100} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{r,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{r,z}^+ : \underline{6.64} \text{ cm}$$

$$i_{r,z}^- : \underline{6.64} \text{ cm}$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.056} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$.

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

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.527} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$.

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

$$M_{Ed}^- : \underline{0.504} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{c,Rd} : \underline{9.390} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

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

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

$$W_{pl,z} : \underline{351.70} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.097} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2.

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

$$V_{Ed} : \underline{3.777} \text{ t}$$

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

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

$$V_{c,Rd} : \underline{38.751} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{25.14} \text{ cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$A : \underline{76.80} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{240.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{12.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{21.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

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

Siendo:

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

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

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

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

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

$$21.87 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{21.87}$$

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

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

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

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

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

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

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

Se debe satisfacer:

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

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.205} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{94.565} \text{ t}$$

Donde:

 A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{61.35} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

 A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{76.80} \text{ cm}^2$$

 d : Altura del alma.

$$d : \underline{206.00} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$3.777 \text{ t} \leq 19.375 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.777} \text{ t}$$

 $V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{38.751} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.205 \text{ t} \leq 47.282 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.205} \text{ t}$$

 $V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{94.565} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.595} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.653} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.731} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.600 m del nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

Donde:

- N_{c,Ed}**: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 64.760 t
- M_{y,Ed}, M_{z,Ed}**: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{y,Ed}⁺** : 5.531 t·m
- M_{z,Ed}⁺** : 0.004 t·m
- Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. **Clase** : 1
- N_{pl,Rd}**: Resistencia a compresión de la sección bruta. **N_{pl,Rd}** : 205.039 t
- M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. **M_{pl,Rd,y}** : 19.879 t·m
- M_{pl,Rd,z}** : 9.390 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

- A**: Área de la sección bruta. **A** : 76.80 cm²
- W_{pl,y}, W_{pl,z}**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **W_{pl,y}** : 744.60 cm³
- W_{pl,z}** : 351.70 cm³
- f_{yd}**: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2669.77 kp/cm²
- f_{yd} = f_y / γ_{M1}**
- Siendo: **f_y** : 2803.26 kp/cm²
- f_y**: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **γ_{M1}** : 1.05
- γ_{M1}**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

k_y, k_z, k_{y,LT}: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.05}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.36}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_{y,LT} : \underline{0.96}$$

- C_{m,y}, C_{m,z}, C_{m,LT}**: Factores de momento flector uniforme equivalente. **C_{m,y}** : 1.00
- C_{m,z}** : 1.00
- C_{m,LT}** : 1.00

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. **χ_y** : 0.94- χ_z** : 0.72

χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral. **χ_{LT}** : 0.92

λ̄_y, λ̄_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. **λ̄_y** : 0.36- λ̄_z** : 0.71

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección. **α_y** : 0.60- α_z** : 0.60

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$3.777 \text{ t} \leq 19.373 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{3.777} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{38.745} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.541} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{35.12} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.097} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.777} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{38.745} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{38.751} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.53} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{35.12} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.205} \quad t$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.002} \quad t \cdot m$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{94.431} \quad t$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{94.565} \quad t$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{5.42} \quad \text{kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_t : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_t : \underline{35.12} \quad \text{cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \quad \text{kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \quad \text{kp/cm}^2$$

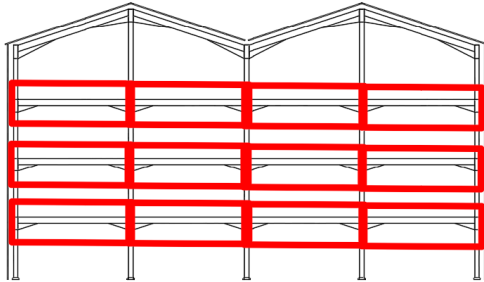
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

3.3.3.2 PORTIKO HASTIALAREN KALKULUA

Aukeratutako profilen konprobazioa, bai Azken Muga Egoera zein Zerbitzu Muga Egoera CYPE-ren CYPE 3D moduluarekin egingo da, barra guztiak onargarriak diren jakiteko. Kasu honetan aukeratutako sekzioak onargarriak dira eta barren kalkuluak honakoak dira:

Portiko Hastialaren Solairuen Habeak (IPE 330)



3.38 Irudia – Portiko Hastialaren Solairuen Habeak

Perfil: IPE 330, Simple con cartelas (Cartela inicial inferior: 1.00 m. Cartela final inferior: 1.00 m.)																
Material: Acero (S275)																
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas ⁽¹⁾												
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽²⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽²⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽³⁾ (cm ⁴)	y ₀ ⁽⁴⁾ (mm)	z ₀ ⁽⁴⁾ (mm)							
	N143	N421	6.000	101.49	47652.73	1181.49	40.01	0.00	142.32							
	Notas: ⁽¹⁾ Las características mecánicas y el dibujo mostrados corresponden a la sección inicial del perfil (N143) ⁽²⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽³⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽⁴⁾ Coordenadas del centro de gravedad															
			Pandeo			Pandeo lateral										
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.										
	β	0.50	1.00	1.00	1.00											
	L _K	3.000	3.000	3.000	3.000											
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000											
	C ₁	-			1.000											
	Notación: β : Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico															
	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															
	Barra	λ	λ_{cr}	N _x	N _y	M _x	M _y	V _x	V _y	M _{Vx}	M _{Vy}	NM _x	NM _y V _x	M _x	M _{Vx}	M _{Vy}
3/N421	x: 0.115 m $\lambda < 2.0$ Cumple	x: 0.364 m $\lambda_{cr} < \lambda_{lim}$ Cumple	x: 1.116 m $\eta = 1.1$	x: 1.114 m $\eta = 0.9$	x: 3 m $\eta = 45.8$	x: 3 m $\eta = 1.0$	x: 1.052 m $\eta = 11.2$	x: 1.114 m $\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 3 m $\eta = 45.7$	$\eta < 0.1$	x: 1.114 m $\eta = 1.1$	x: 1.052 m $\eta = 6.5$	x: 1.114 m $\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 45.8$
Notación: λ : Limitación de esbeltez λ_{cr} : Absolutura del eje indicada por el fabricante N: Resistencia a tensión N _x : Resistencia a compresión N _y : Resistencia a flexión eje Y N _z : Resistencia a flexión eje Z V _x : Resistencia a corte X V _y : Resistencia a corte Y M _x : Resistencia a momento flexor X y fuerza cortante Z combinadas M _y : Resistencia a momento flexor Y y fuerza cortante X combinadas NM _x : Resistencia a flexión y asíl combinadas NM _y V _x : Resistencia a flexión, asíl y cortante combinadas N: Resistencia a tensión M _V : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinadas M _V : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinadas λ : Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de esbeltez (‰)																

Producido por una versión educativa de CYPE

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{1.02} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{103.76} \text{ cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{277.382} \text{ t}$$

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{12502.778} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{277.382} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{416.997} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{53259.73} \text{ cm}^4$$

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{1181.60} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{40.44} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{789779.59} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{3.000} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{3.000} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{3.000} \text{ m}$$

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{22.91} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{22.66} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.37} \text{ cm}$$

y₀, z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{tc,ef}}}$$

$$73.21 \leq 342.73 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 549.08 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 7.50 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 41.18 cm²

A_{tc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{tc,ef} : 18.40 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.116 m del nudo N143, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(90°)H1+0.75·N(EI).

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 1.829 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 167.128 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 62.60 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{d,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.114 m del nudo N143, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(0°)H1.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

N_{c,Ed} : 0.963 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{167.128} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{102.551} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.99}$$

$$\chi_z : \underline{0.61}$$

$$\chi_T : \underline{0.78}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.54}$$

$$\phi_z : \underline{1.11}$$

$$\phi_T : \underline{0.84}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

$$\alpha_z : \underline{0.34}$$

$$\alpha_T : \underline{0.34}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.25}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.97}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.71}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{184.984} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{2763.020} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{184.984} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{348.364} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.334} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.458} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N421, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

 M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{7.175} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

 M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{21.465} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

 $W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)El momento flector resistente de cálculo $M_{b,Rd}$ viene dado por:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd} : \underline{15.680} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

 $W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

 χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} : \underline{0.73}$$

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\Phi_{LT} : \underline{0.91}$$

 α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_{LT} : \underline{0.34}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.79}$$

 M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{36.099} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTV} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV} : \underline{20.702} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{29.573} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{713.33} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{788.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{28.06} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{3.000} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{3.000} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{f,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{f,z}^+ : \underline{4.20} \text{ cm}$$

$$i_{f,z}^- : \underline{4.20} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N421, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(0°)H2.

 M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.041} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N421, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H1.

 M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.036} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{4.111} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{154.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.112} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.052 m del nudo N143, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{4.688} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{41.700} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{27.05} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$36.13 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{36.13}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.114 m del nudo N143, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.013} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{61.001} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{39.58} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{307.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$4.771 \text{ t} \leq 37.281 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{4.771} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{74.561} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.013 \text{ t} \leq 44.681 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.013} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{89.362} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.336} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.457} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N421, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.190} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{7.175} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{167.128} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{21.465} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{4.111} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} : \underline{7.156} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{890.03} \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{15.680} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$4.771 \text{ t} \leq 37.281 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{4.771} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{74.561} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.114 m del nudo N143, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H1.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.004} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.376} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{24.40} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.065} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.052 m del nudo N143, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2+0.75·N(R)2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.724} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{41.661} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{41.700} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{3.60} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{31.69} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.114 m del nudo N143, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.013} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.001} \text{ t·m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{60.905} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{61.001} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{6.02} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{24.40} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

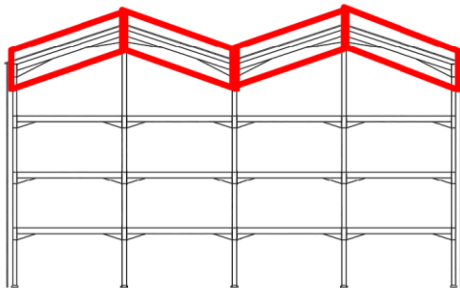
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Portiko Hastialaren Teilatuko Habeak (IPE 330)



3.39 Irudia – Portiko Hastialaren Teilatuko Habeak

Perfil: IPE 330, Simple con cartelas (Cartela inicial inferior: 2.00 m. Cartela final inferior: 2.00 m.)
Material: Acero (S275)

Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas ⁽¹⁾					
		Área (cm ²)	I _y ⁽²⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽²⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽³⁾ (cm ⁴)	Y ₀ ⁽⁴⁾ (mm)	Z ₀ ⁽⁴⁾ (mm)
N2 - N5	6.318	102.68	50535.91	1181.55	40.24	0.00	150.27

Notas:
⁽¹⁾ Las características mecánicas y el dibujo mostrados corresponden a la sección inicial del perfil (N2)
⁽²⁾ Inercia respecto al eje indicado
⁽³⁾ Momento de inercia a torsión uniforme
⁽⁴⁾ Coordenadas del centro de gravedad

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.50	1.00	1.00	1.00
L _x	3.159	6.318	6.318	6.318
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000
C ₁	-		1.000	

Notación:
 β : Coeficiente de pandeo
L_x: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C₁: Factor de modificación para el momento crítico

COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)																	Estado
	λ	λ_{lim}	N ₁	N ₂	M ₁	M ₂	V ₁	V ₂	M ₁ V ₁	M ₂ V ₂	NM ₁	NM ₂	M ₁	MV ₁	MV ₂		
N5	x: 0.122 m $\lambda < 2.0$ Cumple	x: 0.621 m $\lambda_u \leq \lambda_{lim}$ Cumple	x: 4.182 m $\eta = 0.9$	x: 0.122 m $\eta = 1.6$	x: 2.71 m $\eta = 13.3$	x: 4.18 m $\eta = 22.4$	x: 6.181 m $\eta = 2.2$	x: 0.122 m $\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 2.71 m $\eta = 28.3$	$\eta < 0.1$	x: 2.121 m $\eta = 13.9$	x: 6.181 m $\eta = 2.2$	x: 0.122 m $\eta = 0.5$	CUMPLE $\eta = 28.3$	

Notación:
 λ : Limitación de esbeltez
 λ_{lim} : Esbeltez crítica (m) indicada por el fabricante
N₁: Resistencia a tracción
N₂: Resistencia a compresión
N₁: Resistencia a flexión eje Y
N₂: Resistencia a flexión eje Z
V₁: Resistencia a corte Z
V₂: Resistencia a corte Y
M₁V₁: Resistencia a momento flexor Y y fuerza cortante Z combinados
M₂V₂: Resistencia a momento flexor Z y fuerza cortante Y combinados
NM₁: Resistencia a flexión y axial combinados
NM₂: Resistencia a flexión, axial y corte combinados
N₁: Resistencia a tracción
M₁V₁: Resistencia a corte Z y momento flexor combinados
M₂V₂: Resistencia a corte Y y momento flexor combinados
x: Distancia al origen de la barra
 η : Coeficiente de aproximación (%)

Producido por una versión educativa de CYPE

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{1.43} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{103.89} \text{ cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

N_{cr} : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{143.076} \text{ t}$$

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{2836.748} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{250.143} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{143.076} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{53600.09} \text{ cm}^4$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{1181.61} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{40.46} \text{ cm}^4$$

I_w : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{794193.64} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{6.318} \text{ m}$$

L_{kz} : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{3.159} \text{ m}$$

L_{kt} : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{6.318} \text{ m}$$

i_0 : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{22.96} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{22.71} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.37} \text{ cm}$$

y_0, z_0 : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$73.19 \leq 342.67 \quad \checkmark$$

Donde:

 h_w : Altura del alma.

$$h_w : \frac{548.92}{1} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \frac{7.50}{1} \text{ mm}$$

 A_w : Área del alma.

$$A_w : \frac{41.17}{1} \text{ cm}^2$$

 $A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \frac{18.40}{1} \text{ cm}^2$$

 k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \frac{0.30}{1}$$

 E : Módulo de elasticidad.

$$E : \frac{2140673}{1} \text{ kp/cm}^2$$

 f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \frac{2803.26}{1} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.182 m del nudo N2, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$.

 $N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \frac{1.476}{1} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \frac{167.128}{1} \text{ t}$$

Donde:

 A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \frac{62.60}{1} \text{ cm}^2$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \frac{2669.77}{1} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \frac{2803.26}{1} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{1}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.016} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.122 m del nudo N2, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$.

 $N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \frac{1.635}{1} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{277.370} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{103.89} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{102.796} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{103.89} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.97}$$

$$\chi_z : \underline{0.55}$$

$$\chi_T : \underline{0.37}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.56}$$

$$\phi_z : \underline{1.23}$$

$$\phi_T : \underline{1.73}$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

$$\alpha_z : \underline{0.34}$$

$$\alpha_T : \underline{0.34}$$

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.32}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.08}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{1.43}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{143.076} \text{ t}$$

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{2836.748} \text{ t}$$

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{250.143} \text{ t}$$

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{143.076} \text{ t}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.052} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.133} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.710 m del nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.115} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.710 m del nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·V(90°)H1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.495} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{21.465} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)El momento flector resistente de cálculo $M_{b,Rd}$ viene dado por:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd} : \underline{8.400} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT} : \underline{0.39}$$

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\Phi_{LT} : \underline{1.65}$$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_{LT} : \underline{0.34}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{1.38}$$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \underline{11.877} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTV} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$$M_{LTV} : \underline{9.830} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{r,z}^2$$

$$M_{LTw} : \underline{6.667} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \underline{713.33} \text{ cm}^3$$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{788.00} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{28.06} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_c^+ : \underline{6.318} \text{ m}$$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$$L_c^- : \underline{6.318} \text{ m}$$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{r,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{r,z}^+ : \underline{4.20} \text{ cm}$$

$$i_{r,z}^- : \underline{4.20} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.224} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.180 m del nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.920} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.180 m del nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.35·CM1+1.5·V(270°)H1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.720} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{4.111} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{154.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 6.181 m del nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H2+1.5·N(R)2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.612} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{74.765} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{48.51} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$36.13 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{36.13}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.122 m del nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.405} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{89.362} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{57.98} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.357 \text{ t} \leq 37.383 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H2+1.5·N(EI).

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.357} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{74.765} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.405 \text{ t} \leq 44.681 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.405} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{89.362} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.196} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.224} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.283} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^{ésimos} se producen en un punto situado a una distancia de 2.710 m del nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

Donde:

N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo p ^{ésimo} .	N_{c,Ed} : <u>1.111</u> t
M_{y,Ed} , M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo p ^{ésimos} , según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} : <u>1.115</u> t·m
	M_{z,Ed} : <u>0.563</u> t·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>167.128</u> t
M_{pl,Rd,y} , M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : <u>21.465</u> t·m
	M_{pl,Rd,z} : <u>4.111</u> t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A : Área de la sección bruta.	A : <u>62.60</u> cm ²
W_{pl,y} , W_{pl,z} : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	W_{pl,y} : <u>804.00</u> cm ³
	W_{pl,z} : <u>154.00</u> cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2669.77</u> kp/cm ²
f_{yd} = f _y /γ _{M1}	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>2803.26</u> kp/cm ²
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M1} : <u>1.05</u>

k_y, **k_z**, **k_{y,LT}**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.02}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_{y,LT} : \underline{1.00}$$

C_{m,y} , C_{m,z} , C_{m,LT} : Factores de momento flector uniforme equivalente.	C_{m,y} : <u>1.00</u>
	C_{m,z} : <u>1.00</u>
	C_{m,LT} : <u>1.00</u>

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	χ_y : <u>0.91</u>
	χ_z : <u>0.58</u>

χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral.

χ_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.	χ_{LT} : <u>0.39</u>
λ̄_y , λ̄_z : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	λ̄_y : <u>0.53</u>
	λ̄_z : <u>1.03</u>

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	α_y : <u>0.60</u>
	α_z : <u>0.60</u>

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 0.9 \cdot V(0^\circ)H2 + 1.5 \cdot N(EI)$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.357 \text{ t} \leq 36.666 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \frac{1.357}{t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \frac{73.333}{t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.139} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.121 m del nudo N2, para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.052} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.376} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{24.40} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 6.181 m del nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.8·CM1+0.9·V(0°)H2+1.5·N(R)2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.612} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.016} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{73.881} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{74.765} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{45.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{35.19} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.122 m del nudo N2, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.405} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.043} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{86.490} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{89.362} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{121.89} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{35.19} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

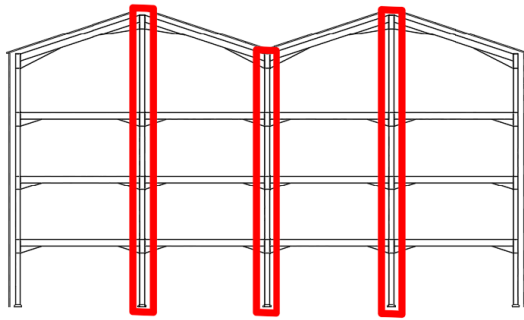
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Portiko Hastialaren Zutabe Zentralak (HEB 260)



3.40 Irudia – Portiko Hastialaren Zutabe Zentralak

Perfil: HE 260 B Material: Acero (S275)		Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
		Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
		N97	N144	3.100	118.40	14920.00	5135.00	126.67	
		Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
				Pandeo		Pandeo lateral			
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
		β		1.20	1.00	1.00	1.00		
		L _K		3.720	3.100	3.100	3.100		
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000				
C ₁		-		1.000					
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico									

Barra	CONPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado			
	λ̄	λ _{rel}	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y	NM _z	NM _y V _z	NM _z V _y		M _t	M _y V _t	M _z V _t
7/N144	λ < 2.0 Cumple	λ _{rel} ≤ λ _{rel,lim} Cumple	N _t = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	N _c = 29.4 η = 29.4	M _y = 0 m η = 10.0	M _z = 0 m η = 18.0	V _z = 3.1 η = 3.1	V _y = 0 m η = 1.0	M _y V _z = 0.1 η < 0.1	M _z V _y = 0.1 η < 0.1	NM _y = 0 m η = 35.6	NM _z = 0 m η = 35.6	NM _y V _z = 0.1 η < 0.1	NM _z V _y = 0.1 η < 0.1	M _t = 0.00 N.P. ⁽²⁾	M _y V _t = 0.0 N.P. ⁽³⁾	M _z V _t = 0.0 N.P. ⁽³⁾	CUMPLE η = 35.6
Relación: λ̄: Limitación de esbeltez λ _{rel} : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y : Resistencia a flexión y axil combinados NM _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _t : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados M _z V _t : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																		
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (3) No hay interacción entre momento torsor y fuerzas cortantes para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																		

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{0.64} \quad \checkmark$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 118.40 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2701.33 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 783.979 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 3280.163 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 783.979 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 1595.734 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 14920.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 5135.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 126.67 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 753700.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 3.100 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 3.720 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 3.100 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 13.01 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 11.23 cm

i_z : 6.59 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Producido por una versión educativa de CYPE

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{rc,ef}}} \quad 22.50 \leq 167.18 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w : Altura del alma.	h_w :	<u>225.00</u>	mm
t_w : Espesor del alma.	t_w :	<u>10.00</u>	mm
A_w : Área del alma.	A_w :	<u>22.50</u>	cm ²
A_{rc,ef} : Área reducida del ala comprimida.	A_{rc,ef} :	<u>45.50</u>	cm ²
k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	k :	<u>0.30</u>	
E : Módulo de elasticidad.	E :	<u>2140673</u>	kp/cm ²
f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.	f_{yf} :	<u>2701.33</u>	kp/cm ²
Siendo:			
$f_{yf} = f_y$			

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \quad \underline{0.224} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \quad \underline{0.294} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N97, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **N_{c,Ed}** : 68.226 t

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

N_{c,Rd} = A · f_{yd} **N_{c,Rd}** : 304.607 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 118.40 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : 2572.69 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : 2701.33 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

N_{b,Rd} = χ · A · f_{yd} **N_{b,Rd}** : 232.172 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : 118.40 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$$\chi_y : \underline{0.96}$$

$$\chi_z : \underline{0.76}$$

$$\chi_T : \underline{0.87}$$

$$\phi_y : \underline{0.57}$$

$$\phi_z : \underline{0.81}$$

$$\phi_T : \underline{0.66}$$

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.31}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.64}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.45}$$

$$N_{cr} : \underline{783.979} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{3280.163} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{783.979} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{1595.734} \text{ t}$$

Producción para una versión educativa de CYPE

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.094} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.100} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N97, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(0°)H2.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{2.646} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N97, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2+0.75·N(R)2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{3.103} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{33.008} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

W_{pl,y} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.	W_{pl,y} : <u>1283.00</u> cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2572.69</u> kp/cm ²
$f_{yd} = f_t / \gamma_{M0}$	
Siendo:	
f_t : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_t : <u>2701.33</u> kp/cm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>
Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)	
El momento flector resistente de cálculo M_{b,Rd} viene dado por:	
$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$	M_{b,Rd} : <u>30.989</u> t·m
Donde:	
W_{pl,y} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.	W_{pl,y} : <u>1283.00</u> cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2572.69</u> kp/cm ²
$f_{yd} = f_t / \gamma_{M1}$	
Siendo:	
f_t : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_t : <u>2701.33</u> kp/cm ²
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M1} : <u>1.05</u>
χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.	
$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$	χ_{LT} : <u>0.94</u>
Siendo:	
$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$	Φ_{LT} : <u>0.63</u>
α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.	α_{LT} : <u>0.21</u>
$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$	λ̄_{LT} : <u>0.45</u>
M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.	M_{cr} : <u>170.458</u> t·m
El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:	
$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$	
Siendo:	
M_{LTV} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.	
$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$	M_{LTV} : <u>108.662</u> t·m
M_{LTW} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.	
$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,t}^2$	M_{LTW} : <u>131.334</u> t·m
Siendo:	
W_{el,y} : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.	W_{el,y} : <u>1147.69</u> cm ³
I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	I_z : <u>5135.00</u> cm ⁴
I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.	I_t : <u>126.67</u> cm ⁴
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>2140673</u> kp/cm ²
G : Módulo de elasticidad transversal.	G : <u>825688</u> kp/cm ²
L_c⁺ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.	L_c⁺ : <u>3.100</u> m
L_c⁻ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.	L_c⁻ : <u>3.100</u> m

Procedido por una versión educativa de CYPE

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$$C_1 : \underline{1.00}$$

$i_{r,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$$i_{r,z}^+ : \underline{7.21} \text{ cm}$$

$$i_{r,z}^- : \underline{7.21} \text{ cm}$$

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.180} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N97, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{2.790} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N97, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(270°)H1.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{2.459} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{15.493} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{602.20} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.031} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2+0.75·N(R)2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.755} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V_{c,Rd}** viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{55.775} \text{ t}$$

Donde:

A_v: Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{37.55} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{118.40} \text{ cm}^2$$

b: Ancho de la sección.

$$b : \underline{260.00} \text{ mm}$$

t_f: Espesor del ala.

$$t_f : \underline{17.50} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

r: Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{24.00} \text{ mm}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{Mo}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$17.70 < 65.92 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{17.70}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{máx}: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{máx} : \underline{65.92}$$

$$\lambda_{máx} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε: Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.94}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N97, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.368} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{142.444} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{95.90} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{118.40} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{225.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.755 \text{ t} \leq 27.887 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2+0.75·N(R)2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.755} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{55.775} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.368 \text{ t} \leq 71.222 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.368} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{142.444} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.304} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.248} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.356} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^{ésimos} se producen en el nudo N97, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(90°)H1+0.75·N(R)2.

Donde:

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo p^{ésimo}. N_{c,Ed} : 33.664 t
M_{y,Ed}, M_{z,Ed}: Momentos flectores solicitantes de cálculo p^{ésimos}, según los ejes Y y Z, respectivamente. M_{y,Ed} : 0.426 t·m
M_{z,Ed} : 2.790 t·m
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. Clase : 1

N_{pl,Rd}: Resistencia a compresión de la sección bruta. N_{pl,Rd} : 304.607 t
M_{pl,Rd,y}, M_{pl,Rd,z}: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. M_{pl,Rd,y} : 33.008 t·m
M_{pl,Rd,z} : 15.493 t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. A : 118.40 cm²
W_{pl,y}, W_{pl,z}: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. W_{pl,y} : 1283.00 cm³
W_{pl,z} : 602.20 cm³
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : 2572.69 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : 2701.33 kp/cm²
γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : 1.05

k_y, k_z, k_{y,LT}: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.01}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.10}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_{y,LT} : \underline{0.99}$$

C_{m,y}, C_{m,z}, C_{m,LT}: Factores de momento flector uniforme equivalente. C_{m,y} : 1.00

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,LT} : \underline{1.00}$$

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. χ_y : 0.96

$$\chi_z : \underline{0.76}$$

χ_{LT}: Coeficiente de reducción por pandeo lateral. χ_{LT} : 0.94

λ_y, λ_z: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente. λ_y : 0.31

$$\lambda_z : \underline{0.64}$$

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección. α_y : 0.60

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.755 \text{ t} \leq 27.887 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \frac{1.755}{t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \frac{55.775}{t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

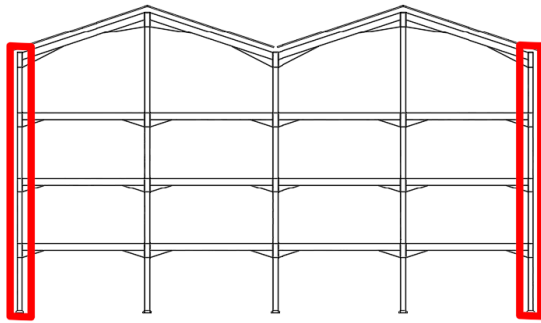
Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Portiko Hastialaren Alboko Zutabeak (HEA 240)



3.41 Irudia – Portiko Hastialaren Alboko Zutabeak

Perfil: HE 240 A Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
		N1	N143	3.100	76.80	7763.00	2769.00
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
	β	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00	
	L _K	3.720	3.100	3.100	3.100	3.100	
	C _m	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
	C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	λ ₁	λ _m	N _t	N _c	M _t	M _z	V _z	V _y	MV _z	M _z V _y	NM _t M _z	NM _t M _z VV _z	M _t	MV _z		M _t V _y
N143	λ < 2.0 Cumple	λ _m ≤ λ _{m,lim} Cumple	N _{gt} = 0,00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 25.2	x: 2.5 m η = 15.9	x: 0 m η = 8.3	x: 0 m η = 5.1	x: 0 m η = 1.0	η < 0.1	η < 0.1	x: 2.6 m η = 39.9	η < 0.1	η = 0.4	x: 0 m η = 5.1	x: 0 m η = 1.0	CUMPLE η = 39.9
Notación: λ: Limitación de esbeltez L: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N: Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _t : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _z : Resistencia a corte Z V _y : Resistencia a corte Y MV _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _t M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _t M _z VV _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _t V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _t V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.																

Producido por una versión educativa de EXE

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.71 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 76.80 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 422.753 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 1706.696 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 422.753 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 780.362 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 7763.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 2769.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 42.14 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 328500.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 3.100 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 3.720 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 3.100 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 11.71 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 10.05 cm

i_z : 6.00 cm

y₀ , z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Producido por una versión educativa de CYPE

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

27.47 ≤ 167.79 ✓

Donde:

h_w : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

A_w : Área del alma.

$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E : Módulo de elasticidad.

f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

h_w : 206.00 mm

t_w : 7.50 mm

A_w : 15.45 cm²

$A_{fc,ef}$: 28.80 cm²

k : 0.30

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.180 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

η : 0.252 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$: 36.943 t

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{c,Rd}$: 205.039 t

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 1

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 76.80 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd}$: 146.857 t

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 76.80 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$$\chi_y : \underline{0.94}$$

$$\chi_z : \underline{0.72}$$

$$\chi_T : \underline{0.83}$$

$$\phi_y : \underline{0.59}$$

$$\phi_z : \underline{0.88}$$

$$\phi_T : \underline{0.72}$$

$$\alpha_y : \underline{0.34}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

$$\alpha_T : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.36}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.71}$$

$$\bar{\lambda}_T : \underline{0.53}$$

$$N_{cr} : \underline{422.753} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{1706.696} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{422.753} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{780.362} \text{ t}$$

Producción de una versión educativa de CYPE

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.147} \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{d,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.159} \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.600 m del nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{2.914} \text{ t·m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t·m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{19.879} \text{ t·m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{744.60} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

El momento flector resistente de cálculo $M_{b,Rd}$ viene dado por:

$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

$M_{b,Rd} : \underline{18.306} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} : \underline{744.60} \text{ cm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$\chi_{LT} : \underline{0.92}$

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$\Phi_{LT} : \underline{0.66}$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_{LT} : \underline{0.21}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT} : \underline{0.51}$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$M_{cr} : \underline{79.967} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTW}^2}$

Siendo:

M_{LTV} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$M_{LTV} : \underline{46.024} \text{ t}\cdot\text{m}$

M_{LTW} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2$$

$M_{LTW} : \underline{65.395} \text{ t}\cdot\text{m}$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$W_{el,y} : \underline{675.04} \text{ cm}^3$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$I_z : \underline{2769.00} \text{ cm}^4$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t : \underline{42.14} \text{ cm}^4$

E : Módulo de elasticidad.

$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$L_c^+ : \underline{3.100} \text{ m}$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$L_c^- : \underline{3.100} \text{ m}$

Producido por una versión educativa de CYPE

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

C_1 : 1.00

$i_{r,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$i_{r,z}^+$: 6.64 cm

$i_{r,z}^-$: 6.64 cm

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

η : 0.083 ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^+ : 0.779 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(270°)H1+0.75·N(R)2.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

M_{Ed}^- : 0.615 t·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$M_{c,Rd}$: 9.390 t·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase : 1

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$: 351.70 cm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.051} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.959} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{38.751} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{25.14} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_r + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_r$$

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{76.80} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{240.00} \text{ mm}$$

t_r : Espesor del ala.

$$t_r : \underline{12.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{21.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$21.87 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{21.87}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.903} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{94.565} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{61.35} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{76.80} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{206.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.959 \text{ t} \leq 19.375 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.959} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{38.751} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.903 \text{ t} \leq 47.282 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.903} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{94.565} \text{ t}$$

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.321} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.348} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.399} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^{ésimos} se producen en un punto situado a una distancia de 2.600 m del nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

Donde:

N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo p ^{ésimo} .	N_{c,Ed} : <u>35.561</u> t
M_{y,Ed} , M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo p ^{ésimos} , según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} ⁺ : <u>2.914</u> t·m
	M_{z,Ed} ⁺ : <u>0.007</u> t·m
Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>205.039</u> t
M_{pl,Rd,y} , M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : <u>19.879</u> t·m
	M_{pl,Rd,z} : <u>9.390</u> t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A : Área de la sección bruta.	A : <u>76.80</u> cm ²
W_{pl,y} , W_{pl,z} : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	W_{pl,y} : <u>744.60</u> cm ³
	W_{pl,z} : <u>351.70</u> cm ³
f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} : <u>2669.77</u> kp/cm ²
f_{yd} = f _y /γ _{M1}	
Siendo:	
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y : <u>2803.26</u> kp/cm ²
γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M1} : <u>1.05</u>

k_y, **k_z**, **k_{y,LT}**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.03}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.20}$$

$$k_{y,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_{y,LT} : \underline{0.98}$$

C_{m,y} , C_{m,z} , C_{m,LT} : Factores de momento flector uniforme equivalente.	C_{m,y} : <u>1.00</u>
	C_{m,z} : <u>1.00</u>
	C_{m,LT} : <u>1.00</u>

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	χ_y : <u>0.94</u>
	χ_z : <u>0.72</u>

χ_{LT} : Coeficiente de reducción por pandeo lateral.	χ_{LT} : <u>0.92</u>
--	-------------------------------------

λ_y , λ_z : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	λ_y : <u>0.36</u>
	λ_z : <u>0.71</u>

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.	α_y : <u>0.60</u>
	α_z : <u>0.60</u>

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2$.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.959 \text{ t} \leq 19.372 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.959} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{38.744} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones $0.8 \cdot PP + 0.8 \cdot CM1 + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.541} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{35.12} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.051} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(180°)H2.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.959} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd}/\sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{38.744} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{38.751} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_t : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_t : \underline{35.12} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^simos se producen en el nudo N1, para la combinaci3n de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de c3lculo p^simo.

$$V_{Ed} : \underline{0.903} \text{ t}$$

M_{T,Ed}: Momento torsor solicitante de c3lculo p^simo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de c3lculo reducido **V_{pl,T,Rd}** viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{94.541} \text{ t}$$

Donde:

V_{pl,Rd}: Esfuerzo cortante resistente de c3lculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{94.565} \text{ t}$$

τ_{T,Ed}: Tensiones tangenciales por torsi3n.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.94} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_t: M3dulo de resistencia a torsi3n.

$$W_t : \underline{35.12} \text{ cm}^3$$

f_{yd}: Resistencia de c3lculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Lⁱmite el3stico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

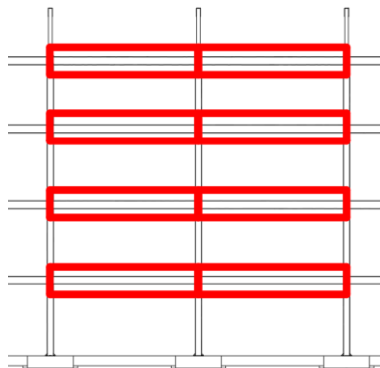
$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Portikoen arteko Habetxoak (IPE330)

Zoruaren karga portikoetara eramateko habetxoak jarriko dira portikoen artean



3.42 Irudia – Portikoen arteko Habetxoak

Datos de la viga	
	Geometría
	Referencia del perfil : IPE 330
	Materiales
	Acero : S275

2. RESUMEN DE LAS COMPROBACIONES

Tramo	COMPROBACIONES DE RESISTENCIA (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_{rel}	N_t	N_c	M_t	N_x	V_x	V_y	$M_t V_x$	$M_t V_y$	NM_x	$NM_y V_x V_y$	M_t		$M_t V_x$	$M_t V_y$
N422 - N409	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{rel} \leq \lambda_{rel,lim}$ Cumple	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.1$	x: 2.92 m $\eta = 68.4$	$M_{te} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 19.4$	$V_{te} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽³⁾	$\eta = 68.4$	x: 2.92 m $\eta < 0.1$	$M_{te} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	CUMPLE $\eta = 68.4$
<p>Notación:</p> <ul style="list-style-type: none"> $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez λ_{rel}: Absoluta del alma incluida por el ala comprimida N_t: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_t: Resistencia a flexión eje Y M_x: Resistencia a flexión eje Z V_x: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_t V_x$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_t V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM_x: Resistencia a flexión y axil combinados $NM_y V_x V_y$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M_t: Resistencia a torsión $M_t V_x$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados $M_t V_y$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede <p>comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <ul style="list-style-type: none"> ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽³⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽⁵⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. 																

Producido por una versión educativa de CYPE

Viga	Sobrecarga (Característica) $f_{i,Q} \leq f_{i,Q,lim}$ $f_{i,Q,lim} = L/350$	Instantánea (Cuasipermanente) $f_{i,tot,max} \leq f_{i,tot,lim}$ $f_{i,tot,lim} = L/300$	Activa (Característica) $f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = L/350$	Estado
N422 - N409	$f_{i,Q}$: 8.00 mm $f_{i,Q,lim}$: 16.69 mm	$f_{i,tot,max}$: 6.73 mm $f_{i,tot,lim}$: 19.47 mm	$f_{A,max}$: 14.40 mm $f_{A,lim}$: 16.69 mm	CUMPLE

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 1.95 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 3

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 62.60 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 46.246 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 690.755 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 46.246 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : 173.711 t

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 11770.00 cm⁴

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 788.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 28.06 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 199000.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 6.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 6.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 6.000 m

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i₀ : 14.16 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 13.71 cm

i_z : 3.55 cm

y₀, z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Producido por una versión educativa de CYPE

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$40.93 \leq 256.27 \quad \checkmark$$

Donde:

 h_w : Altura del alma.

$$h_w : \underline{307.00} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

 A_w : Área del alma.

$$A_w : \underline{23.03} \text{ cm}^2$$

 $A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{18.40} \text{ cm}^2$$

 k : Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

 E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

 f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·V(0°)H2.

 $N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.083} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{167.128} \text{ t}$$

Donde:

 A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{d,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+0.8·CM1+1.5·V(90°)H1.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed} : \underline{0.029} \text{ t}$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$

$N_{c,Rd} : \underline{167.128} \text{ t}$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 3

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 62.60 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$

$N_{b,Rd} : \underline{36.683} \text{ t}$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 62.60 cm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

χ_y : 0.92

χ_z : 0.22

χ_T : 0.59

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

ϕ_y : 0.66

ϕ_z : 2.69

ϕ_T : 1.14

α : Coeficiente de imperfección elástica.

α_y : 0.21

α_z : 0.34

α_T : 0.34

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_y$: 0.50

$\bar{\lambda}_z$: 1.95

$\bar{\lambda}_T$: 1.01

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr} : 46.246 t

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$: 690.755 t

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$: 46.246 t

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$: 173.711 t

Producido por una versión educativa de CYBER

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.663} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.684} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.920 m del nudo N422, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{14.231} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{21.465} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)El momento flector resistente de cálculo $M_{b,Rd}$ viene dado por:

$$M_{b,Rd}^+ = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^+ \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^+ : \underline{20.795} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{b,Rd}^- = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y}^- \cdot f_{yd}$$

$$M_{b,Rd}^- : \underline{8.848} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ_{LT} : Factor de reducción por pandeo lateral.

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1$$

$$\chi_{LT}^+ : \underline{0.97}$$

$$\chi_{LT}^- : \underline{0.41}$$

Siendo:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\Phi_{LT}^+ : \underline{0.56}$$

$$\Phi_{LT}^- : \underline{1.58}$$

α_{LT} : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_{LT} : \underline{0.34}$

$\bar{\lambda}_{LT}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_{LT}^+ = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^+ \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}^+ : \underline{0.29}$

$$\bar{\lambda}_{LT}^- = \sqrt{\frac{W_{pl,y}^- \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_{LT}^- : \underline{1.33}$

M_{cr} : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$M_{cr}^+ : \underline{273.304} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{cr}^- : \underline{12.720} \text{ t}\cdot\text{m}$

El momento crítico elástico de pandeo lateral M_{cr} se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTV}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

M_{LTV} : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z}$$

$M_{LTV}^+ : \underline{62.107} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{LTV}^- : \underline{10.351} \text{ t}\cdot\text{m}$

M_{LTw} : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{d,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{r,z}^2$$

$M_{LTw}^+ : \underline{266.153} \text{ t}\cdot\text{m}$

$M_{LTw}^- : \underline{7.393} \text{ t}\cdot\text{m}$

Siendo:

$W_{el,y}$: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$W_{d,y} : \underline{713.33} \text{ cm}^3$

I_z : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$I_z : \underline{788.00} \text{ cm}^4$

I_t : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t : \underline{28.06} \text{ cm}^4$

E : Módulo de elasticidad.

$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$

G : Módulo de elasticidad transversal.

$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$

L_c^+ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$L_c^+ : \underline{1.000} \text{ m}$

L_c^- : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$L_c^- : \underline{6.000} \text{ m}$

C_1 : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$C_1 : \underline{1.00}$

$i_{r,z}$: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.

$i_{r,z}^+ : \underline{4.20} \text{ cm}$

$i_{r,z}^- : \underline{4.20} \text{ cm}$

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Articulo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.194} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N422, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{9.234} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{47.479} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{30.80} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{160.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{11.50} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{18.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$36.13 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{36.13}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

λ_{\max} : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$9.234 \text{ t} \leq 23.739 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N422, para la combinación de acciones $1.35 \cdot PP + 1.35 \cdot CM1 + 1.5 \cdot Q1$.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{9.234} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{47.479} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.663} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.684} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 2.920 m del nudo N422, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

Donde:

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.002} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{14.231} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{167.128} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{21.465} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{4.111} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$: Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} : \underline{14.230} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$: Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{1769.95} \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$: Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$: Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{20.795} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N422, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·CM1+1.5·Q1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$9.234 \text{ t} \leq 23.739 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{9.234} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{47.479} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Sobrecarga (Característica)	Instantánea (Cuasipermanente)	Activa (Característica)	Estado
$f_{i,Q} \leq f_{i,Q,lim}$ $f_{i,Q,lim} = L/350$	$f_{i,tot,max} \leq f_{i,tot,lim}$ $f_{i,tot,lim} = L/300$	$f_{A,max} \leq f_{A,lim}$ $f_{A,lim} = L/350$	
$f_{i,Q} : 8.00 \text{ mm}$ $f_{i,Q,lim} : 16.69 \text{ mm}$	$f_{i,tot,max} : 6.73 \text{ mm}$ $f_{i,tot,lim} : 19.47 \text{ mm}$	$f_{A,max} : 14.40 \text{ mm}$ $f_{A,lim} : 16.69 \text{ mm}$	CUMPLE

Flecha total instantánea para el conjunto de las cargas de tipo "Sobrecarga" para la combinación "Característica" de acciones

La flecha máxima se produce en la sección "2.92 m" para la combinación de acciones: Peso propio+CM 1 - Tabiquería+CM 1 - Pavimento+Q 1

$$f_{i,Q} \leq f_{i,Q,lim}$$

$$8.00 \text{ mm} \leq 16.69 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$f_{i,Q,lim}$: límite establecido para la flecha instantánea producida por las sobrecargas de uso

$$f_{i,Q,lim} : \underline{16.69} \text{ mm}$$

$$f_{i,Q,lim} = L/350$$

L: longitud de referencia

$$L : \underline{5.84} \text{ m}$$

$f_{i,Q}$: flecha instantánea producida por las sobrecargas de uso aplicadas

$$f_{i,Q} : \underline{8.00} \text{ mm}$$

Flecha total instantánea para la combinación "Cuasipermanente" de acciones

La flecha máxima se produce en la sección "2.92 m" para la combinación de acciones: Peso propio+CM 1 - Tabiquería+CM 1 - Pavimento

$$f_{i,tot,max} \leq f_{i,tot,lim}$$

$$6.73 \text{ mm} \leq 19.47 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$f_{i,tot,lim}$: límite establecido para la flecha total instantánea

$$f_{i,tot,lim} : \underline{19.47} \text{ mm}$$

$$f_{i,tot,lim} = L/300$$

L: longitud de referencia

$$L : \underline{5.84} \text{ m}$$

$f_{i,tot,max}$: valor máximo de la flecha total instantánea

$$f_{i,tot,max} : \underline{6.73} \text{ mm}$$

Flecha activa a partir del instante "3 meses", para la combinación de acciones "Característica"

La flecha máxima se produce en la sección "2.92 m" para la combinación de acciones: Peso propio+CM 1 - Tabiquería+CM 1 - Pavimento+Q 1

$$f_{A,max} \leq f_{A,lim}$$

$$14.40 \text{ mm} \leq 16.69 \text{ mm} \quad \checkmark$$

$f_{A,lim}$: límite establecido para la flecha activa

$$f_{A,lim} : \underline{16.69} \text{ mm}$$

$$f_{A,lim} = L/350$$

L: longitud de referencia

$$L : \underline{5.84} \text{ m}$$

$f_{A,max}$: flecha activa máxima producida a partir del instante "3 meses"

$$f_{A,max} : \underline{14.40} \text{ mm}$$

$$f_{A,max} = f_T - f_i (t = t_{ed})$$

f_T : flecha instantánea máxima

$$f_T : \underline{14.72} \text{ mm}$$

$f_i (t = t_{ed})$: flecha instantánea en el instante $t = t_{ed}$

$$f_i (t = t_{ed}) : \underline{0.33} \text{ mm}$$

t_{ed} : Construcción del elemento dañable

$$t_{ed} : \underline{3 \text{ meses}}$$

3.3.4 ZIMENDAPENA

Egitura osatzen duten profilak kalkulatu ondoren, CYPE-ko CYPE 3D modulua erabiliz zimendapena kalkulatu da. Programak zimendapenaren elementuek izan behar duten neurriak, armadura kopurua eta kokapena kalkulatzeko aurretik lortu diren kargak kontuan hartuta.

Programan aurretik definitu da zimendapenaren materialen kalitatea. Hormigoia HA-25 izango da (kontrol estatistikoa), garbiketa hormigoia HM-20, hartxintxarraren tamaina maximoa 30mm, armaduren altzairua B 500 S.

Datu hauekin programak hormigoizko zapatak eta habe lotzaileak dimentsionatuko ditu.

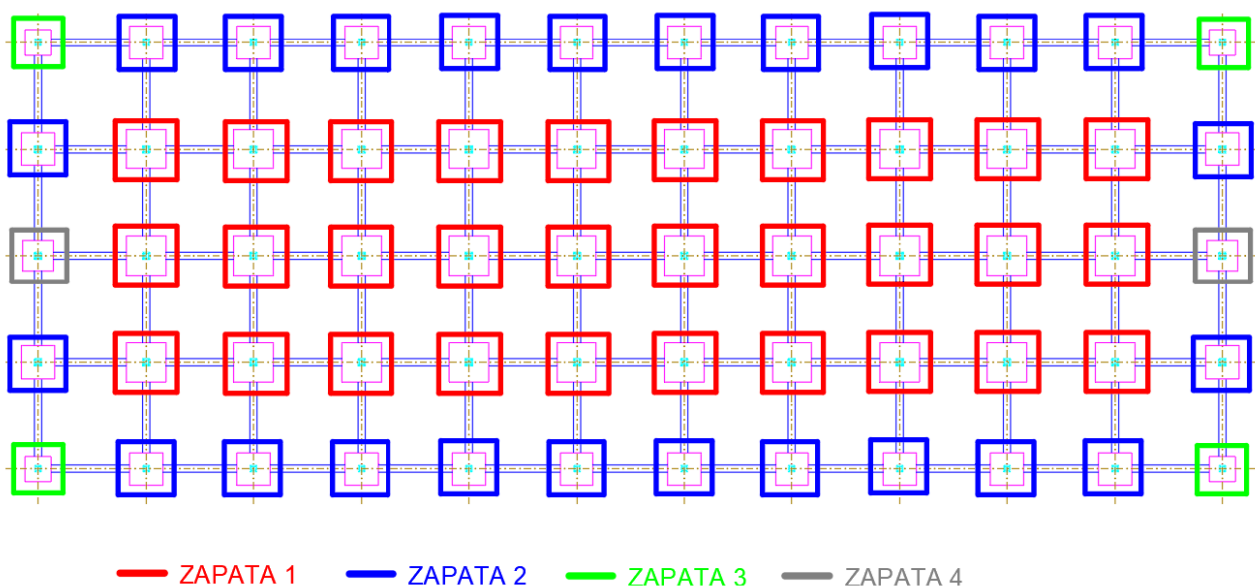
3.3.4.1 HORMIGOIZKO ZAPATAK

Egituraren portikoen zutabeen zimendapena hormigoizko zapata isolatuen bidez exekutatu da. Zapaten beheko geruzan, lurrarekin kontaktuan egongo dena garbiketa hormigoia geruza bat aplikatuko zaio, 10cm-ko lodierarekin. Zapatak Angeluzuzenak izango dira eta aurpegi lauekin.

Zutabeen eta Zapaten arteko lotura guztiz zurruna dela ulertzen da, zutabeen oinarri plaka eta ainguraketa berneok finkatuta.

CYPE-k zapata bakoitza behar dituen dimentsioekin diseinatu du baina ez da praktikoa, zapata bakoitza ezberdina izango delako. Ondorioz Zapatak taldeetan banatu behar dira CYPEk diseinu berbera dimentsionatzeko zapata talde horrentzako.

Egitura honen kasuan 4 Zapata mota ezberdin definitu dira



3.43 Irudia – Zapaten Eskema

ZAPATA	KOPURUA	DIMENTSIOAK (cm)
ZAPATA 1	30	220x220x50
ZAPATA 2	24	185x185x50
ZAPATA 3	4	145x145x50
ZAPATA 4	2	170x170x50

3.29 Taula – Zapaten Datu Orokorrak

Portiko Hastial bakoitzak bi ZAPATA 2 bi ZAPATA 3 eta ZAPATA 4 batez osatutako zimenduak dauzka.

Portiko Zentral bakoitzak hiru ZAPATA 1 eta bi ZAPATA 2 osatutako zimenduak ditu.

Zapatak elkarren artean lotuta daude habe lotzaileen bidez. Habe guzti hauek sekzio berdinekoak dira 40x40 cm-koa. Hormigoi eta armaduren kalitatea zapatetan erabilitakoaren berdina da eta elementu hauen azpian 10cm-ko garbiketa hormigoizko geruza aplikatu behar zaie ere.

Segidan Zapaten dimentsionamendurako egindako konprobaketak azaltzen dira:

ZAPATA 1

Referencia: N43		
Dimensiones: 220 x 220 x 50		
Armados: Xi:Ø16c/25 Yi:Ø16c/25		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 3 kp/cm ² Calculado: 1.957 kp/cm ²	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 3.75 kp/cm ² Calculado: 1.958 kp/cm ²	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 3.75 kp/cm ² Calculado: 2.142 kp/cm ²	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 664.0 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 501.8 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 27.37 t·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 27.37 t·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 31.38 t	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 31.38 t	Cumple
Compresión oblicua en la zapata: <i>Situaciones persistentes: Criterio de CYPE</i>		
	Máximo: 509.68 t/m ² Calculado: 228.14 t/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>		
	Mínimo: 25 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: <i>- N43:</i>		
	Mínimo: 35 cm Calculado: 42 cm	Cumple
Cantidad geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0016	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0016	Cumple

Producción Cantidad mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0016	
	Calculado: 0.0017	Cumple
	Calculado: 0.0017	Cumple
Diámetro mínimo de las barras: - Parrilla inferior: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm	
	Calculado: 16 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Máximo: 30 cm	
	Calculado: 25 cm	Cumple
	Calculado: 25 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 10 cm	
	Calculado: 25 cm	Cumple
	Calculado: 25 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> - Armado inf. dirección X hacia der: - Armado inf. dirección X hacia izq: - Armado inf. dirección Y hacia arriba: - Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 37 cm	
	Calculado: 48 cm	Cumple
	Calculado: 48 cm	Cumple
	Calculado: 48 cm	Cumple
	Calculado: 48 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
Referencia: N43		
Dimensiones: 220 x 220 x 50		
Armados: Xi:Ø16c/25 Yi:Ø16c/25		
Comprobación	Valores	Estado
- Zapata de tipo rígido (Artículo 58.2 de la norma EHE-08) - Relación rotura pésima (En dirección X): 0.93 - Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.93 - Cortante de agotamiento (En dirección X): 52.93 t - Cortante de agotamiento (En dirección Y): 52.93 t		

ZAPATA 2

Referencia: N33		
Dimensiones: 185 x 185 x 50		
Armados: Xi:Ø12c/21 Yi:Ø12c/17		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i>		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 3 kp/cm ² Calculado: 1.574 kp/cm ²	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento:	Máximo: 3.75 kp/cm ² Calculado: 1.923 kp/cm ²	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 3.75 kp/cm ² Calculado: 2.238 kp/cm ²	Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i>		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 3737.5 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 347.8 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 12.28 t·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 14.87 t·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Cortante: 13.80 t	Cumple
- En dirección Y:	Cortante: 17.11 t	Cumple
Compresión oblicua en la zapata:		
- Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 509.68 t/m ² Calculado: 140.89 t/m ²	Cumple
Canto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>		
	Mínimo: 25 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación:		
- N33:	Mínimo: 35 cm Calculado: 43 cm	Cumple
Cantidad geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0011	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.0013	Cumple
Cantidad mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 0.0011 Calculado: 0.0012	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0012 Calculado: 0.0014	Cumple
Diámetro mínimo de las barras:		
- Parrilla inferior: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i>		
- Armado inferior dirección X:	Máximo: 30 cm Calculado: 21 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 17 cm	Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i>		
- Armado inferior dirección X:	Mínimo: 10 cm Calculado: 21 cm	Cumple
- Armado inferior dirección Y:	Calculado: 17 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Calculado: 32 cm Mínimo: 22 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 22 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 15 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 22 cm	Cumple

Referencia: N33		
Dimensiones: 185 x 185 x 50		
Armados: Xi:Ø12c/21 Yi:Ø12c/17		
Comprobación	Valores	Estado
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
<ul style="list-style-type: none"> - Zapata de tipo rígido (Artículo 58.2 de la norma EHE-08) - Relación rotura pésima (En dirección X): 0.75 - Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.74 - Cortante de agotamiento (En dirección X): 44.80 t - Cortante de agotamiento (En dirección Y): 44.80 t 		

[Producido por una versión educativa de CYPE](#)

ZAPATA 3

Referencia: N6 Dimensiones: 145 x 145 x 50 Armados: Xi:Ø12c/25 Yi:Ø12c/25		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i> - Tensión media en situaciones persistentes: - Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento: - Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 3 kp/cm ² Calculado: 1.443 kp/cm ² Máximo: 3.75 kp/cm ² Calculado: 1.81 kp/cm ² Máximo: 3.75 kp/cm ² Calculado: 2.235 kp/cm ²	Cumple Cumple Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i> - En dirección X: - En dirección Y:	Reserva seguridad: 331.0 % Reserva seguridad: 330.9 %	Cumple Cumple
Flexión en la zapata: - En dirección X: - En dirección Y:	Momento: 4.84 t·m Momento: 6.06 t·m	Cumple Cumple
Cortante en la zapata: - En dirección X: - En dirección Y:	Cortante: 4.05 t Cortante: 5.35 t	Cumple Cumple
Compresión oblicua en la zapata: - Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 509.68 t/m ² Calculado: 78.59 t/m ²	Cumple
Alto mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N6:	Mínimo: 35 cm Calculado: 43 cm	Cumple
Cantidad geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.00094 Calculado: 0.00094	Cumple Cumple
Cantidad mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Calculado: 0.001 Mínimo: 0.0006 Mínimo: 0.0007	Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: - Parrilla inferior: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i>	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm	Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm	Cumple Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera. Ed. INTEMAC, 1991</i> - Armado inf. dirección X hacia der: - Armado inf. dirección X hacia izq: - Armado inf. dirección Y hacia arriba: - Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 24 cm Calculado: 24 cm Calculado: 24 cm Calculado: 24 cm Calculado: 24 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Longitud mínima de las patillas: - Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 12 cm Calculado: 12 cm	Cumple

Referencia: N6		
Dimensiones: 145 x 145 x 50		
Armados: Xi:Ø12c/25 Yi:Ø12c/25		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 12 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 12 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 12 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Zapata de tipo rígido (Artículo 58.2 de la norma EHE-08)		
- Relación rotura pésima (En dirección X): 0.45		
- Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.57		
- Cortante de agotamiento (En dirección X): 35.11 t		
- Cortante de agotamiento (En dirección Y): 35.11 t		

ZAPATA 4

Referencia: N3 Dimensiones: 170 x 170 x 50 Armados: Xi:Ø12c/21 Yi:Ø12c/21 Xs:Ø12c/25 Ys:Ø12c/25		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: <i>Criterio de CYPE</i> - Tensión media en situaciones persistentes: - Tensión máxima en situaciones persistentes sin viento: - Tensión máxima en situaciones persistentes con viento:	Máximo: 3 kp/cm ² Calculado: 1.932 kp/cm ² Máximo: 3.75 kp/cm ² Calculado: 1.833 kp/cm ² Máximo: 3.75 kp/cm ² Calculado: 2.187 kp/cm ²	Cumple Cumple Cumple
Vuelco de la zapata: <i>Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.</i> - En dirección X: - En dirección Y:	Reserva seguridad: 146.3 % Reserva seguridad: 521.5 %	Cumple Cumple
Flexión en la zapata: - En dirección X: - En dirección Y:	Momento: 10.70 t·m Momento: 10.67 t·m	Cumple Cumple
Cortante en la zapata: - En dirección X: - En dirección Y:	Cortante: 11.27 t Cortante: 11.24 t	Cumple Cumple
Compresión oblicua en la zapata: - Situaciones persistentes: <i>Criterio de CYPE</i>	Máximo: 509.68 t/m ² Calculado: 126.92 t/m ²	Cumple
Spacio mínimo: <i>Artículo 58.8.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 25 cm Calculado: 50 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N3:	Mínimo: 35 cm Calculado: 43 cm	Cumple
Cantidad geométrica mínima: <i>Artículo 42.3.5 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado superior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección Y:	Mínimo: 0.0009 Calculado: 0.0011 Calculado: 0.00093 Calculado: 0.0011 Calculado: 0.00093	Cumple Cumple Cumple Cumple
Cantidad mínima necesaria por flexión: <i>Artículo 42.3.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X:	Mínimo: 0.001 Calculado: 0.0011 Mínimo: 0.001 Calculado: 0.0011 Mínimo: 0.0001 Calculado: 0.001	Cumple Cumple Cumple
Diámetro mínimo de las barras: <i>Recomendación del Artículo 58.8.2 (norma EHE-08)</i> - Parrilla inferior: - Parrilla superior:	Mínimo: 12 mm Calculado: 12 mm Calculado: 12 mm	Cumple Cumple
Separación máxima entre barras: <i>Artículo 58.8.2 de la norma EHE-08</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y: - Armado superior dirección X: - Armado superior dirección Y:	Máximo: 30 cm Calculado: 21 cm Calculado: 21 cm Calculado: 25 cm Calculado: 25 cm	Cumple Cumple Cumple Cumple
Separación mínima entre barras: <i>Criterio de CYPE, basado en: J. Calavera. "Cálculo de Estructuras de Cimentación". Capítulo 3.16</i> - Armado inferior dirección X: - Armado inferior dirección Y:	Mínimo: 10 cm Calculado: 21 cm Calculado: 21 cm	Cumple Cumple

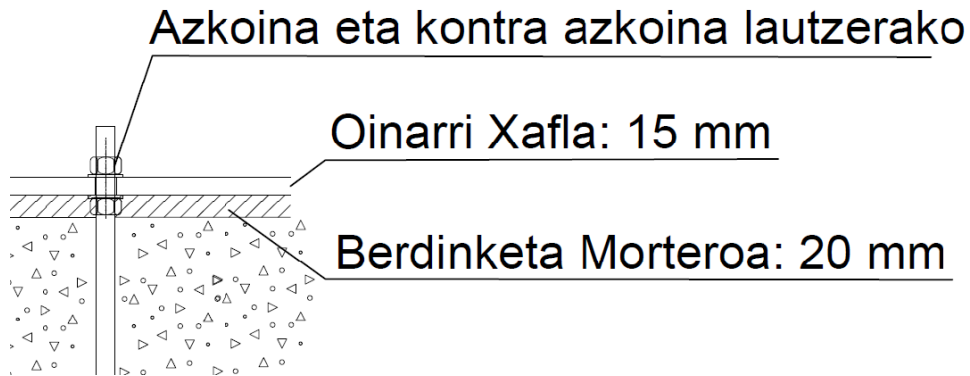
Referencia: N3		
Dimensiones: 170 x 170 x 50		
Armados: Xi:Ø12c/21 Yi:Ø12c/21 Xs:Ø12c/25 Ys:Ø12c/25		
Comprobación	Valores	Estado
- Armado superior dirección X:	Calculado: 25 cm	Cumple
- Armado superior dirección Y:	Calculado: 25 cm	Cumple
Longitud de anclaje: <i>Criterio del libro "Cálculo de estructuras de cimentación", J. Calavera, Ed. INTEMAC, 1991</i>		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 21 cm Calculado: 35 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Mínimo: 22 cm Calculado: 35 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 22 cm Calculado: 35 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 22 cm Calculado: 35 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia der:	Mínimo: 15 cm Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado sup. dirección X hacia izq:	Mínimo: 15 cm Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia arriba:	Mínimo: 15 cm Calculado: 23 cm	Cumple
- Armado sup. dirección Y hacia abajo:	Mínimo: 15 cm Calculado: 23 cm	Cumple
Longitud mínima de las patillas:		
- Armado inf. dirección X hacia der:	Mínimo: 12 cm Calculado: 12 cm	Cumple
- Armado inf. dirección X hacia izq:	Calculado: 12 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia arriba:	Calculado: 12 cm	Cumple
- Armado inf. dirección Y hacia abajo:	Calculado: 12 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
Zapata de tipo rígido (Artículo 58.2 de la norma EHE-08)		
Relación rotura pésima (En dirección X): 0.74		
Relación rotura pésima (En dirección Y): 0.74		
Cortante de agotamiento (En dirección X): 41.17 t		
Cortante de agotamiento (En dirección Y): 41.17 t		

HABE LOTZAILEA

Referencia: C.1 [N35-N27] (Viga de atado) -Dimensiones: 40.0 cm x 40.0 cm -Armadura superior: 2Ø12 -Armadura inferior: 2Ø12 -Estribos: 1xØ8c/30		
Comprobación	Valores	Estado
Diámetro mínimo estribos:	Mínimo: 6 mm Calculado: 8 mm	Cumple
Separación mínima entre estribos: <i>Artículo 69.4.1 de la norma EHE-08</i>	Mínimo: 3.7 cm Calculado: 29.2 cm	Cumple
Separación mínima armadura longitudinal: <i>Artículo 69.4.1 de la norma EHE-08</i> - Armadura superior: - Armadura inferior:	Mínimo: 3.7 cm Calculado: 26 cm Calculado: 26 cm	Cumple Cumple
Separación máxima estribos: - Sin cortantes: <i>Artículo 44.2.3.4.1 de la norma EHE-08</i>	Máximo: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Separación máxima armadura longitudinal: <i>Artículo 42.3.1 de la norma EHE-08</i> - Armadura superior: - Armadura inferior:	Máximo: 30 cm Calculado: 26 cm Calculado: 26 cm	Cumple Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: Diámetro mínimo de la armadura longitudinal (Recomendación del Artículo 58.8.2 de la EHE-08): Mínimo: 12.0 mm, Calculado: 12.0 mm (Cumple) No llegan estados de carga a la cimentación.		

3.3.4.2 FINKATZE PLAKAK

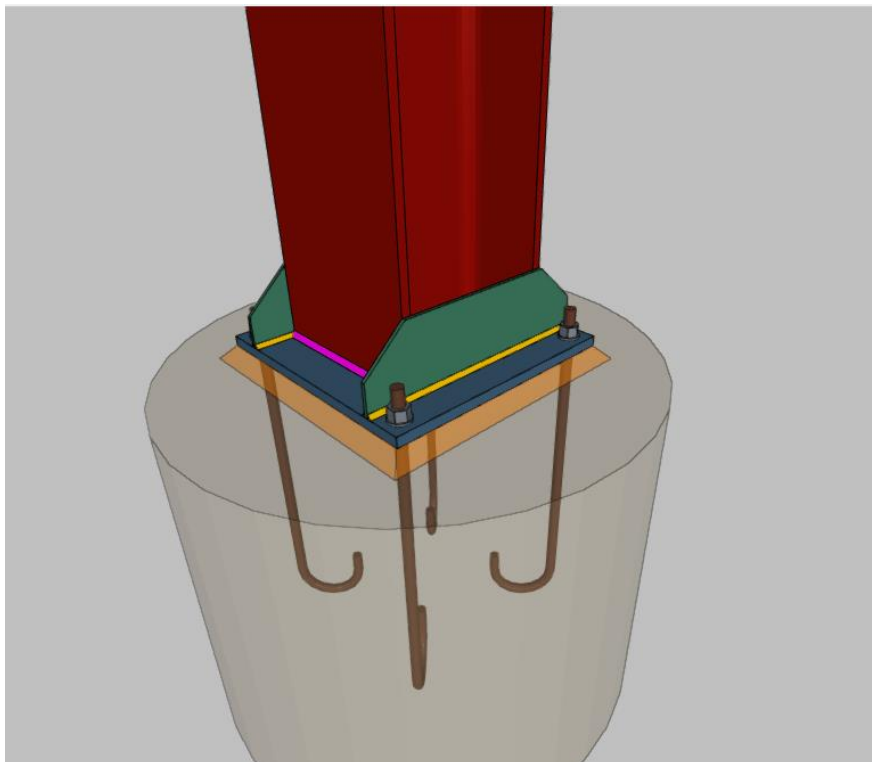
Zutabearen eta Zapataren arteko lotura gauzatzeko altzairuzko plata baten eta azkoin eta zirrindolaz finkatutako bernoak aukeratu dira. Sistema honek zutabearen lautzea ahalbidetzen du azkoinen bidez. Ondoren, plakaren eta zapataren arteko espazioa berdinketa morteroz betetzen da.



3.44 Irudia – Ainguraketa sistemaren eskema

Egituran bi plaka ezberdin diseinatu dira eta beharrezko konprobaziorako kalkuluak honakoak dira:

HEA 240 Zutabeen Plaka



3.45 Irudia – HEA 240 Zutabeen Ainguraketa Plaka

1) Pilar HE 240 A

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	5	1189	7.5	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
-Placa base: Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 15 mm -Pernos: 4Ø16 mm L=35 cm Gancho a 180 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(100x45x5.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 301 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 24 mm Calculado: 26 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 24 mm Calculado: 25 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 40.4	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 16 cm Calculado: 35 cm	Cumple
Andaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 6.343 t Calculado: 2.892 t Máximo: 4.44 t Calculado: 1.062 t Máximo: 6.343 t Calculado: 4.41 t	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 5.213 t Calculado: 2.95 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 3883.31 kp/cm ² Calculado: 1643.75 kp/cm ²	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 12.815 t Calculado: 0.952 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 2669.77 kp/cm ² Calculado: 2204.05 kp/cm ² Calculado: 2204.05 kp/cm ² Calculado: 1800.48 kp/cm ² Calculado: 1800.48 kp/cm ²	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 1438.45 Calculado: 1438.45 Calculado: 10990.6 Calculado: 10990.6	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2669.77 kp/cm ² Calculado: 0 kp/cm ²	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.262		

Producido por una versión educativa de CYPE

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

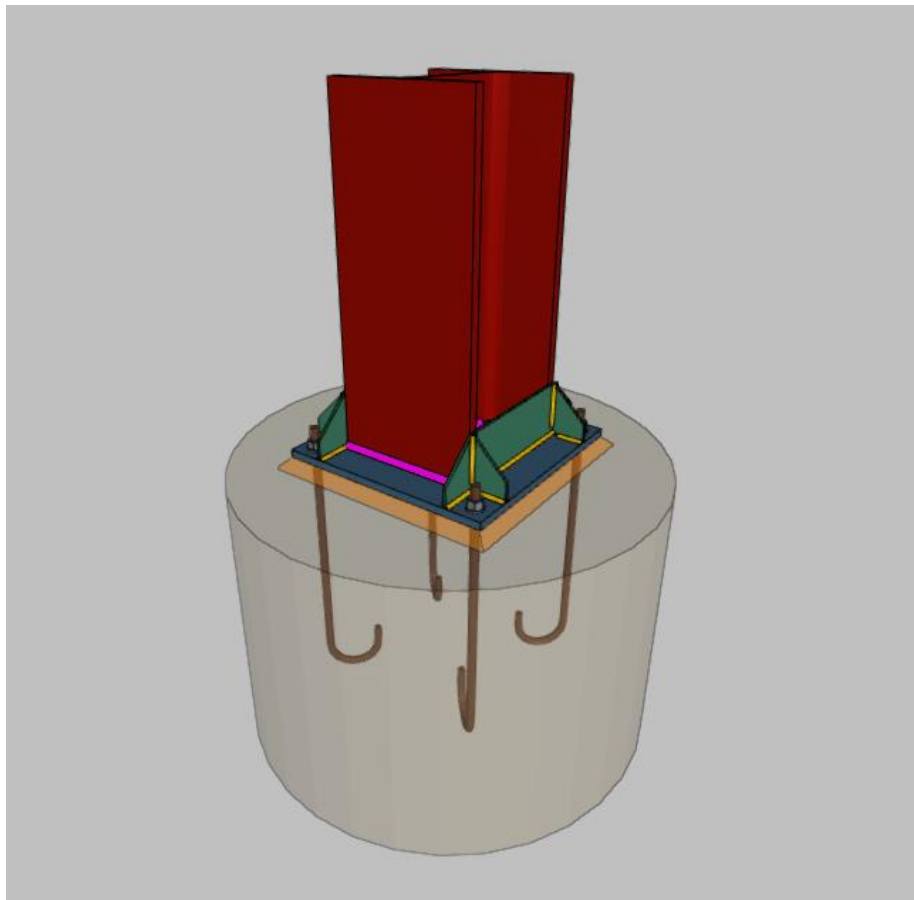
siendo

- β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.
- f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.
- σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.
- σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.
- τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.
- τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Rigidizador y-y (x = -123): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	350	5.0	90.00				
Rigidizador y-y (x = 123): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	350	5.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Rigidizador y-y (x = -123): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Rigidizador y-y (x = 123): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.							410.0	0.85

HEB 260 Zutabeen Plaka



3.46 Irudia – HEB 260 Zutabeen Ainguraketa Plaka

1) Pilar HE 260 B

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

Producido por una versión educativa de CYPE

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura perimetral a la placa	En ángulo	7	1278	10.0	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura perimetral a la placa	La comprobación no procede.							410.0	0.85

2) Placa de anclaje

Referencia:		
-Placa base: Ancho X: 400 mm Ancho Y: 400 mm Espesor: 15 mm -Pernos: 4Ø16 mm L=35 cm Gancho a 180 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: 2(100x35x5.0) Paralelos Y: 2(100x35x5.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>3 diámetros</i>	Mínimo: 48 mm Calculado: 340 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 24 mm Calculado: 35 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 24 mm Calculado: 30 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a X: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 42.3 Calculado: 42.3	Cumple Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 16 cm Calculado: 35 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón: - Tracción: - Cortante: - Tracción + Cortante:	Máximo: 6.343 t Calculado: 2.486 t Máximo: 4.44 t Calculado: 1.568 t Máximo: 6.343 t Calculado: 4.725 t	Cumple Cumple Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 5.213 t Calculado: 2.917 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 3883.31 kp/cm ² Calculado: 1702.64 kp/cm ²	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 12.815 t Calculado: 1.471 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales: - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Máximo: 2669.77 kp/cm ² Calculado: 2043.67 kp/cm ² Calculado: 2043.67 kp/cm ² Calculado: 2325.02 kp/cm ² Calculado: 2325.02 kp/cm ²	Cumple Cumple Cumple Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i> - Derecha: - Izquierda: - Arriba: - Abajo:	Mínimo: 250 Calculado: 8552.2 Calculado: 8552.2 Calculado: 7020.39 Calculado: 7020.4	Cumple Cumple Cumple Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2669.77 kp/cm ² Calculado: 1505.77 kp/cm ²	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.298 - Punto de tensión local máxima: (-0.135, -0.13)		

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120° . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

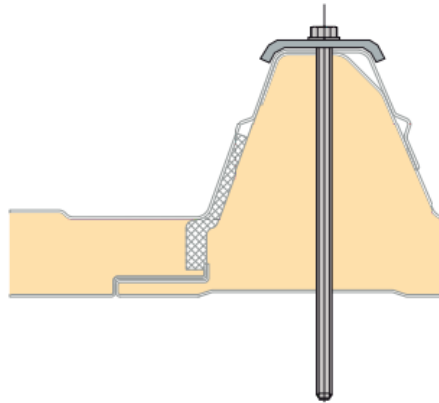
Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Rigidizador x-x (y = -128): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	65	5.0	90.00				
Rigidizador x-x (y = -128): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	4	85	5.0	90.00				
Rigidizador x-x (y = -128): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	65	5.0	90.00				
Rigidizador x-x (y = -128): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	4	85	5.0	90.00				
Rigidizador x-x (y = 128): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	65	5.0	90.00				
Rigidizador x-x (y = 128): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	4	85	5.0	90.00				
Rigidizador x-x (y = 128): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	65	5.0	90.00				
Rigidizador x-x (y = 128): Soldadura al rigidizador en el extremo	En ángulo	4	85	5.0	90.00				
Rigidizador y-y (x = -133): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	400	5.0	90.00				
Rigidizador y-y (x = 133): Soldadura a la placa base	En ángulo	4	400	5.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ _∥ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Rigidizador x-x (y = -128): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador x-x (y = -128): Soldadura al rigidizador en el extremo	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador x-x (y = -128): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador x-x (y = -128): Soldadura al rigidizador en el extremo	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador x-x (y = 128): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador x-x (y = 128): Soldadura al rigidizador en el extremo	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador x-x (y = 128): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador x-x (y = 128): Soldadura al rigidizador en el extremo	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador y-y (x = -133): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	
Rigidizador y-y (x = 133): Soldadura a la placa base	La comprobación no procede.						410.0	0.85	

Producido por una versión educativa de CYPE

3.3.5 LOTURAK

3.3.5.1 ITXITURA PANELEN LOTURA

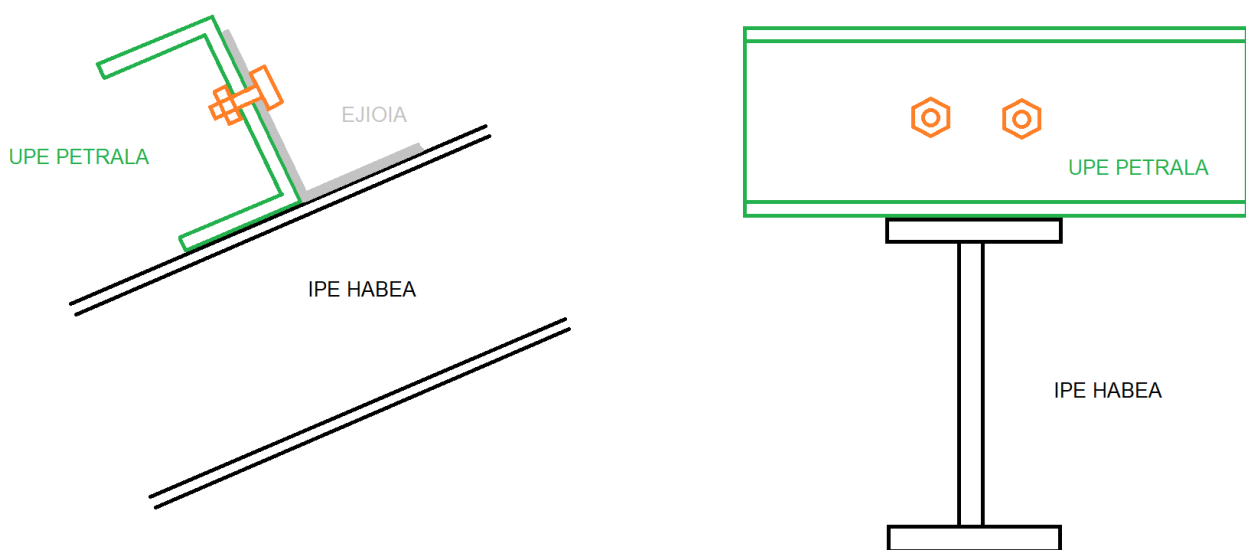
Itxitura osatzen duten panelak teilatu eta hormako petralei torloju autotaladratzaile baten bidez lotuko dira. Panelen fabrikanteak, HIANSAK, komertzializatzen ditu eta ondorioz ez dira kalkulatu behar, HIANSAK bermatzen baitu lan honetarako egokiak direla.



3.47 Irudia – Panelen Lotura

3.3.5.2 PETRALEN LOTURA

Hormako eta Teilatuko Petralen lotura portikoetara zurruna izango da, kalkuluetan horrela adierazi baita. Lotura torloju bidez egingo da teilatuko habeetan aurretik soldatutako ejioien bidez eta petral bakoitza bi bao gutxienez beteko ditu. Lotura ez da kalkulatu.



3.48 Irudia – Petralen Loturaren Eskema

3.3.5.3 PORTIKOEN LOTURAK

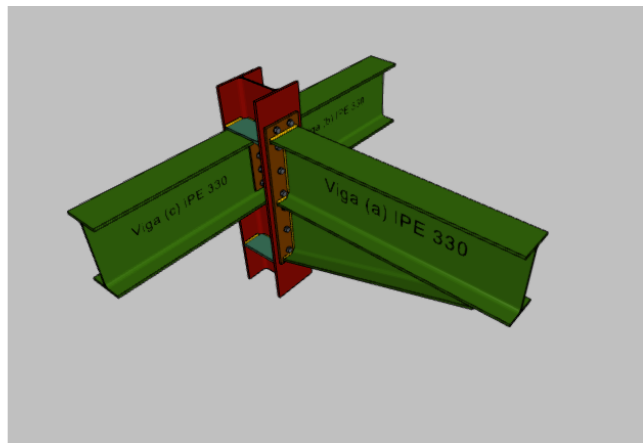
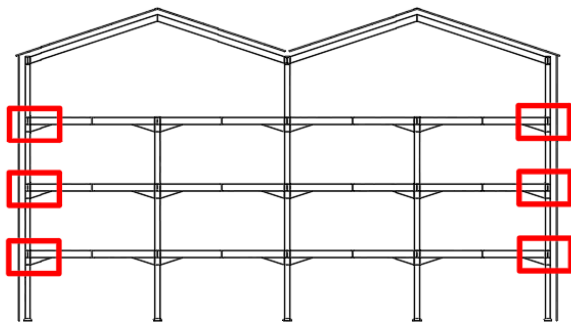
Portikoak osatzen duten habeak eta zutabeak obran lotu egin behar dira. Horregatik egituraren diseinuan loturak torloju bidezko lotura zurrun bezala diseinatu dira. Lotura horiek beharrezko baldintza guztiak bete behar eta betetzen dituzte.

Atal honetan portikoak osatzen dituzten lotura guztien kalkuluak azalduko dira, bai portiko zentralentzat zein portiko hastialentzat.

PORTIKO ZENTRALEN LOTURAK

Alboko zutabeen eta habeen arteko lotura

Alboko zutabeak portikoaren barneko IPE 330 Habearen muturreko plaka jasotzen du hegalean eta M16-ko torlojuen bidez finkatu egiten da. Zutabearen ariman bi habetxo finkatzen dira tailerrean aurretik soldatutako belarrietan berriz ere M16-ko torloju bidez. Gainera lotura honek tailerrean soldatutako bi zurruntzaile daramatza.



3.49 Irudia - Alboko zutabeen eta habeen arteko lotura

Comprobaciones

1) Pilar HE 240 A

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 70\varepsilon$$

$$27.47 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \underline{206} \text{ mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \underline{7.5} \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$

$$565.93 \text{ kN} \leq 678.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \underline{565.93} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \underline{678.61} \text{ kN}$$

Donde:

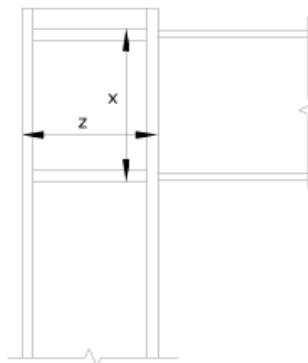
$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	1725	188.97	234.75	80.50
x	4987	565.93	678.61	83.40



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$90.08 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-90.08} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-72.69} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{67} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$74.22 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{74.22} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{70.58} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{79} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$90.08 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-90.08} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-72.69} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{67} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$74.22 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{74.22} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{70.58} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{79} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Comprobaciones por unión con elemento "

– Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

159.94 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal

σ : 159.94 N/mm²

τ: Tensión tangencial

τ : 0.01 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Producido por una versión educativa de CYPE

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 330'

– Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

67.74 kN ≤ 180.86 kN ✓

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

F_{T,Ed} : 67.74 kN

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

F_{T,Rd} : 180.86 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

F_{T,3,Rd} : 180.86 kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

F_{T,2,Rd} : 195.19 kN

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

F_{T,1,Rd} : 236.97 kN

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 7.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

F_{T,Rd} : 180.86 kN

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

M_{pl,1,Rd} : 1.14 kN·m

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

M_{pl,2,Rd} : 2.05 kN·m

∑F_{t,Rd}: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

∑F_{t,Rd} : 180.86 kN

t_r : Espesor de la chapa	t_r : <u>12.0</u> mm
m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela	m : <u>19</u> mm
n : Igual e _{min} pero n ≤ 1,25·m	n : <u>24</u> mm
Σl_{eff,1} : Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*	Σl_{eff,1} : <u>121</u> mm
Σl_{eff,2} : Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*	Σl_{eff,2} : <u>217</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : <u>275.00</u> N/mm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axial.

N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

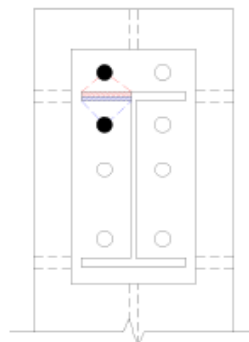
f_y: Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	1001	14.64	262.17	5.59
Inferior	1065	11.87	278.90	4.26
Σ		26.51	269.40	9.84



Producido por una versión educativa de CYPE

– Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad 38.46 \text{ kN} \leq 104.03 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil. $N_{Ed} : \underline{38.46} \text{ kN}$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción. $N_{t,Rd} : \underline{104.03} \text{ kN}$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción $A : \underline{397.00} \text{ mm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (c) IPE 330'

– Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad 27.99 \text{ kN} \leq 820.66 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo $N_{Ed} : \underline{27.99} \text{ kN}$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$ $N_{Rd} : \underline{820.66} \text{ kN}$

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

A_v : Área sometida a cortante $A_v : \underline{4170} \text{ mm}^2$

$$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$$

t : Espesor del elemento en la superficie de unión $t : \underline{7.5} \text{ mm}$

t_p : Espesor del elemento de unión $t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$

h_p : Altura del elemento de unión $h_p : \underline{270} \text{ mm}$

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión. $f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión. $\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$19.88 \text{ kN} \leq 114.17 \text{ kN} \quad \checkmark$$

N_{Ed}: Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{19.88} \text{ kN}$$

N_{Rd}: Resistencia de cálculo del alma a flexión

$$N_{Rd} : \underline{114.17} \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2\mu + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{(1-\beta) \gamma_{M5}}$$

Donde:

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.5} \text{ mm}$$

k_m: Coeficiente de interacción

$$k_m : \underline{1.00}$$

$$\mu = \frac{h_p}{h_{lw}}$$

$$\mu : \underline{1.57}$$

h_p: Altura del elemento de unión

$$h_p : \underline{270} \text{ mm}$$

h_{lw}: Canto del alma entre radios de acuerdo

$$h_{lw} : \underline{172} \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{t_p}{h_{lw}} \leq 0.2$$

$$\beta : \underline{0.05}$$

t_p: Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

f_y: Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M5}: Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.

$$\gamma_{M5} : \underline{1.00}$$

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 330'

- Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$27.99 \text{ kN} \leq 820.66 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed}: Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{27.99} \text{ kN}$$

N_{Rd}: Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$

$$N_{Rd} : \underline{820.66} \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

A_v: Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{4170} \text{ mm}^2$$

$$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$$

t: Espesor del elemento en la superficie de unión

$$t : \underline{7.5} \text{ mm}$$

t_p: Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

h_p: Altura del elemento de unión

$$h_p : \underline{270} \text{ mm}$$

f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M2}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$19.88 \text{ kN} \leq 114.17 \text{ kN} \quad \checkmark$$

 N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{19.88} \text{ kN}$$

 N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión

$$N_{Rd} : \underline{114.17} \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2\mu + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{(1-\beta) \gamma_{M5}}$$

Donde:

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.5} \text{ mm}$$

 k_m : Coeficiente de interacción

$$k_m : \underline{1.00}$$

$$\mu = \frac{h_p}{h_{tw}}$$

$$\mu : \underline{1.57}$$

 h_p : Altura del elemento de unión

$$h_p : \underline{270} \text{ mm}$$

 h_{tw} : Canto del alma entre radios de acuerdo

$$h_{tw} : \underline{172} \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{t_p}{h_{tw}} \leq 0.2$$

$$\beta : \underline{0.05}$$

 t_p : Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.

$$\gamma_{M5} : \underline{1.00}$$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120° . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	63.7	63.7	0.0	127.4	33.01	63.7	19.42	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	73.9	128.0	33.16	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	52.5	52.5	0.0	105.0	27.20	52.5	16.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	71.7	124.2	32.20	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	63.7	63.7	0.0	127.4	33.01	63.7	19.42	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	73.9	128.0	33.16	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	52.5	52.5	0.0	105.0	27.20	52.5	16.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	71.7	124.2	32.20	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga (a) IPE 330

– Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$67.74 \text{ kN} \leq 127.31 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

 $F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{67.74} \text{ kN}$$

 $F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{127.31} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{127.31} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{139.17} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 7.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{127.31} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{0.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{0.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

 $\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

 t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{26} \text{ mm}$$

 n : Igual e_{mn} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{28} \text{ mm}$$

 $\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1. *

$$\sum l_{eff,1} : \underline{95} \text{ mm}$$

 $\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2. *

$$\sum l_{eff,2} : \underline{95} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum L_r$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz L_{er} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad \mathbf{165.43 \text{ kN} \leq 506.36 \text{ kN} \quad \checkmark}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial. $N_{Ed} : \underline{165.43} \text{ kN}$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión. $N_{c,Rd} : \underline{506.36} \text{ kN}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión $A : \underline{1933} \text{ mm}^2$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida. $f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

ρ : Factor de reducción $\rho : \underline{0.000}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

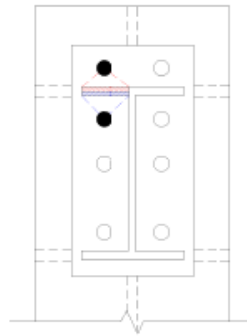
$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	920	33.87	240.95	14.06
Inferior	920	15.39	240.95	6.39
Σ		49.26	240.95	20.44

Producido por una versión educativa de CYPE



- Alma

Cargas Concentradas (CTE DB SE A, 6.3.3.5)

No es necesario rigidizar el alma de una pieza sometida a cargas concentradas actuando sobre las alas si se cumple que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad (6.42) \quad \mathbf{0.13 \leq 1 \quad \checkmark}$$

Donde:

F_{Ed}: Valor de cálculo de la carga concentrada,

F_{Ed} : 36.22 kN

F_{b,Rd}: Resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas.

F_{b,Rd} : 268.58 kN

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_{yw} \cdot t_w \cdot L_{ef}}{\gamma_{M1}} \quad (6.43)$$

Donde:

$$L_{ef} = \chi_f \cdot \ell_y \quad (6.44)$$

L_{ef} : 137.00 mm

$$\chi_f = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_f} \leq 1 \quad (6.45)$$

χ_f : 1.00

$$\bar{\lambda}_f = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} \quad (6.46)$$

λ̄_f : 0.45

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_f \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{d} \quad (6.47)$$

F_{cr} : 1570.57 kN

Los valores de ℓ_y y de k_f dependen del caso considerado, de entre los representados en la figura 6.6:

- Caso a): carga (o reacción) aplicada a un ala y equilibrada por cortantes en el alma.

$$k_f = 6 + 2 \left(\frac{d}{a} \right)^2$$

k_f : 6.05

$$\ell_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \leq a$$

ℓ_y : 137

vieniendo cada coeficiente dado por las expresiones:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w} \quad m_1 : \underline{21.33}$$

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 \left(\frac{d}{t_f} \right) & \text{si } \bar{\lambda}_F > 0,5 \text{ (cabe aproximar } \bar{\lambda}_F \text{ con la} \\ 0 & \text{si } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \text{ aproximar } l_y \text{)} \end{cases} \quad m_2 : \underline{0.00}$$

Donde:

s_s : Longitud de la entrega rígida de la carga.	s_s :	<u>8</u>	mm
t_w : Espesor del alma.	t_w :	<u>8</u>	mm
t_r : Espesor del ala.	t_r :	<u>12</u>	mm
f_{yw} : Tensión de límite elástico del alma.	f_{yw} :	<u>275.00</u>	N/mm ²
f_{yb} : Tensión de límite elástico del ala.	f_{yb} :	<u>275.00</u>	N/mm ²
E : Módulo de elasticidad.	E :	<u>210000.0</u>	N/mm ²
d : distancia entre alas	d :	<u>307</u>	mm

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad 45.00 \text{ kN} \leq 216.09 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.	N_{Ed} :	<u>45.00</u>	kN
N_{t,Rd} : Resistencia de cálculo de la sección a tracción.	N_{t,Rd} :	<u>216.09</u>	kN

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción	A :	<u>825.00</u>	mm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo.	f_{yd} :	<u>261.90</u>	N/mm ²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u>	N/mm ²
γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{Mo} :	<u>1.05</u>	

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si α > 120° ⇒ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si α < 60° ⇒ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espeor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espeor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espeor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	11.5	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	4	271	7.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	11.5	90.00
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	4	304	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	6	160	11.5	72.12
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	5	1000	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	8	160	11.5	72.12

a: Espeor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espeor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	57.7	57.7	0.0	115.4	29.92	57.7	17.60	410.0	0.85
Soldadura del alma	52.2	52.2	19.8	109.9	28.47	52.2	15.91	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	19.0	19.0	0.0	38.0	9.85	19.0	5.79	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	50.9	50.9	19.8	107.5	27.86	50.9	15.53	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	47.2	64.9	0.0	121.9	31.58	61.3	18.70	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	15.7	27.2	7.05	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u : resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α : es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

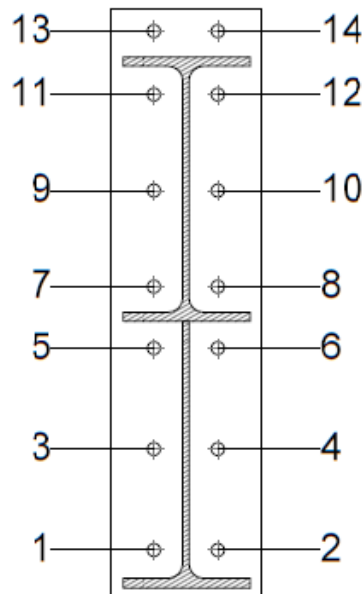
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



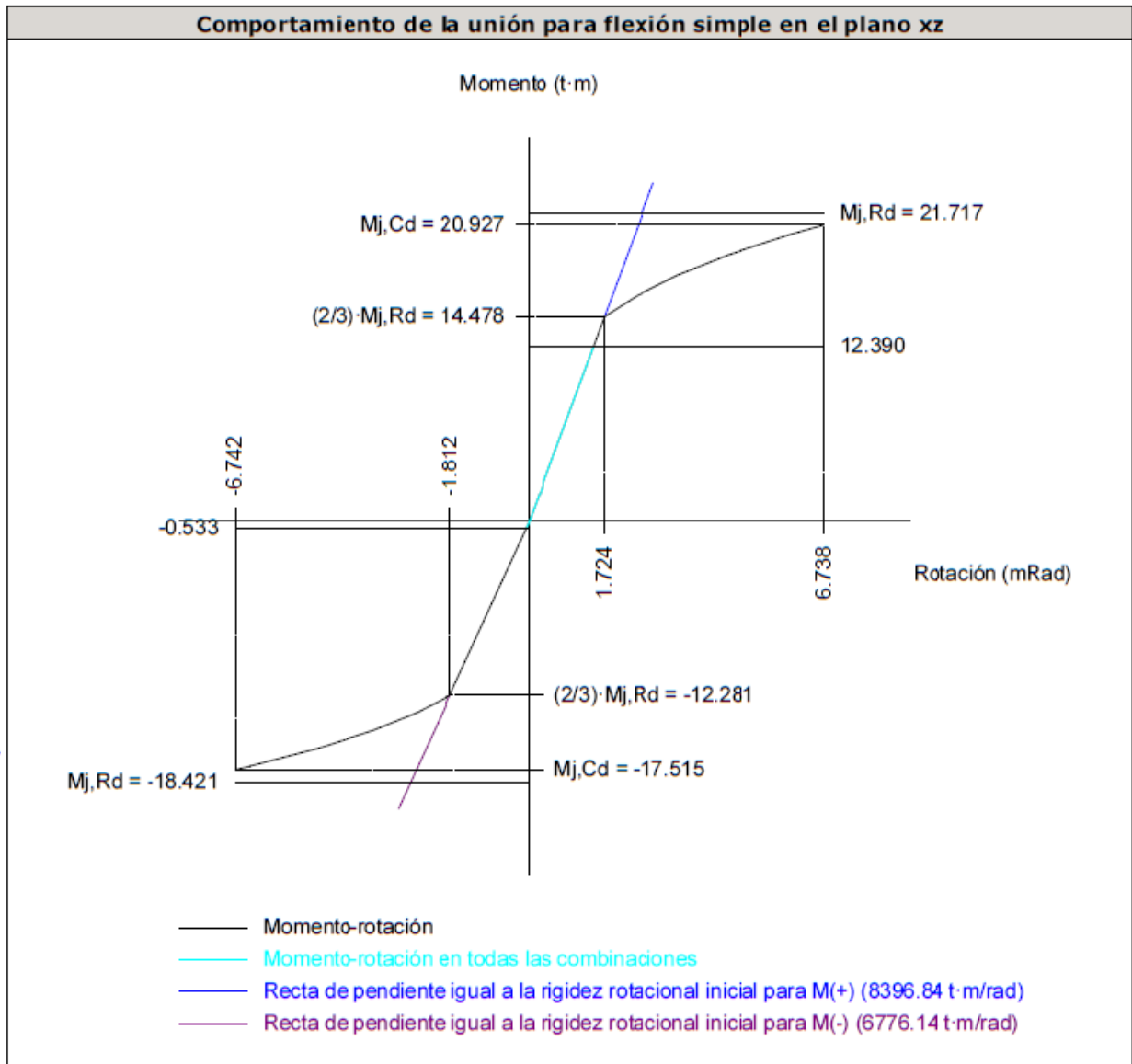
Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	126	80	35.3
2	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	126	80	35.3
3	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	126	80	36.0
4	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	126	80	36.0
5	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	79	80	35.3
6	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	79	80	35.3
7	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	79	80	32.0
8	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	79	80	32.0
9	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	120	80	36.0
10	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	120	80	36.0
11	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	79	80	35.3
12	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	79	80	35.3
13	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	28	55	79	80	27.8
14	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	28	55	79	80	27.8
--: La comprobación no procede.							

[Producido por una versión educativa de CYPE](#)

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	45.598	50.240	90.76	Vástago	0.301	90.432	0.33	90.76	90.76
	Aplastamiento	45.598	157.440	28.96	Punzonamiento	0.301	188.262	0.16		
2	Sección transversal	45.598	50.240	90.76	Vástago	0.301	90.432	0.33	90.76	90.76
	Aplastamiento	45.598	157.440	28.96	Punzonamiento	0.301	188.262	0.16		
3	Sección transversal	1.135	50.240	2.26	Vástago	5.340	90.432	5.90	4.22	5.90
	Aplastamiento	1.135	157.440	0.72	Punzonamiento	5.340	188.262	2.84		
4	Sección transversal	1.135	50.240	2.26	Vástago	5.340	90.432	5.90	4.22	5.90
	Aplastamiento	1.135	157.440	0.72	Punzonamiento	5.340	188.262	2.84		
5	Sección transversal	1.224	50.240	2.44	Vástago	14.947	90.432	16.53	11.81	16.53
	Aplastamiento	1.224	157.440	0.78	Punzonamiento	14.947	188.262	7.94		
6	Sección transversal	1.224	50.240	2.44	Vástago	14.947	90.432	16.53	11.81	16.53
	Aplastamiento	1.224	157.440	0.78	Punzonamiento	14.947	188.262	7.94		
7	Sección transversal	1.510	50.240	3.01	Vástago	19.594	90.432	21.67	15.48	21.67
	Aplastamiento	1.510	157.440	0.96	Punzonamiento	19.594	188.262	10.41		
8	Sección transversal	1.510	50.240	3.01	Vástago	19.594	90.432	21.67	15.48	21.67
	Aplastamiento	1.510	157.440	0.96	Punzonamiento	19.594	188.262	10.41		
9	Sección transversal	1.510	50.240	3.01	Vástago	30.807	90.432	34.07	24.33	34.07
	Aplastamiento	1.510	157.440	0.96	Punzonamiento	30.807	188.262	16.36		
10	Sección transversal	1.510	50.240	3.01	Vástago	30.807	90.432	34.07	24.33	34.07
	Aplastamiento	1.510	157.440	0.96	Punzonamiento	30.807	188.262	16.36		
11	Sección transversal	1.510	50.240	3.01	Vástago	32.782	90.432	36.25	25.89	36.25
	Aplastamiento	1.510	157.440	0.96	Punzonamiento	32.782	188.262	17.41		
12	Sección transversal	1.510	50.240	3.01	Vástago	32.782	90.432	36.25	25.89	36.25
	Aplastamiento	1.510	157.440	0.96	Punzonamiento	32.782	188.262	17.41		
13	Sección transversal	1.510	50.240	3.01	Vástago	48.118	90.432	53.21	38.01	53.21
	Aplastamiento	1.510	80.908	1.87	Punzonamiento	48.118	188.262	25.56		
14	Sección transversal	1.510	50.240	3.01	Vástago	48.118	90.432	53.21	38.01	53.21
	Aplastamiento	1.510	80.908	1.87	Punzonamiento	48.118	188.262	25.56		

Producido por una versión educativa de CYPE

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	955.42	8396.84
Calculada para momentos negativos	955.42	6776.14



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.31 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.31}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \underline{236.97} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$121.55 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 213.04 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{121.55} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{213.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.22 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{1.48} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{6.74} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{612} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.31}$$

3) Viga (c) IPE 330

– Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 306.20 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \underline{306.20} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{2025} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 35.80 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$M_{c,Rd} : \underline{35.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

$W_{pl} : \underline{136687.5} \text{ mm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$

siendo

$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$

0.10 kN ≤ 153.10 kN

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

44.21 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ : Tensión normal

$\sigma : \underline{22.43} \text{ N/mm}^2$

τ_{yz} : Tensión tangencial yz

$\tau_{yz} : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$

τ_{xz} : Tensión tangencial xz

$\tau_{xz} : \underline{-22.00} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd}$

22.51 N/mm² ≤ 228.15 N/mm² ✓

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$\sigma_{c,Ed} : \underline{22.51} \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$\sigma_{b,Rd} : \underline{228.15} \text{ N/mm}^2$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

$$\chi : \underline{0.87}$$

f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$

$$f_{yd} : \underline{2.57} \text{ N/mm}^2$$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\phi : \underline{0.66}$$

α : Coeficiente de imperfección

$$\alpha : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{12 \cdot f_y}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.45}$$

Donde:

β : Coeficiente de pandeo

$$\beta : \underline{2.00}$$

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

$$L : \underline{45} \text{ mm}$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

E : Módulo de elasticidad

$$E : \underline{210000.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.25 \leq 1 \quad \checkmark$$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

d : Diámetro del tornillo.

$$d : \underline{16} \text{ mm}$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$$

d_0 : Diámetro del agujero.

$$d_0 : \underline{18} \text{ mm}$$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	9.14	87.47
z	0.50	27.0	--	-11.88	52.48

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
α : coeficiente igual al menor de los valores: $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$ e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.					

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

47.51 kN ≤ 239.52 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \frac{47.51}{1} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \frac{239.52}{1} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \frac{1584.00}{1} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \frac{275.00}{1} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \frac{410.00}{1} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \frac{1.25}{1}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{1}$

Producido por una versión educativa de CYPE

- Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

0.26 ≤ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$f_u : \frac{410.00}{1} \text{ N/mm}^2$

t : Espesor de la chapa

$t : \frac{7.5}{1} \text{ mm}$

d : Diámetro del tornillo.

$d : \frac{16}{1} \text{ mm}$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \frac{1.25}{1}$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$f_{ub} : \frac{800.00}{1} \text{ N/mm}^2$

d_0 : Diámetro del agujero.

$d_0 : \frac{18}{1} \text{ mm}$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,j}$ (kN)
y	1.00	112.5	--	-9.07	98.40
z	0.50	27.0	--	-11.88	49.20

α : coeficiente igual al menor de los valores:
 $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$
 e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.
 p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

47.51 kN ≤ 233.62 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{47.51} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{233.62} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{1545.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Producido por una versión educativa de CYPE

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	270	7.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	12.7	12.7	17.6	39.7	10.28	12.8	3.89	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

$$\text{- Para } e_1 \text{ y } e_2 \begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u : resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α : es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d_0 : diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s : área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p : espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m : menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

siendo

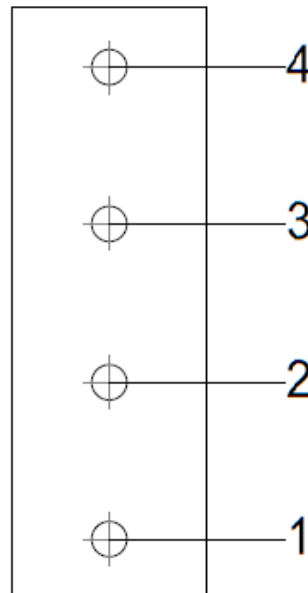
$F_{v,Ed}$: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.

Producido por una versión educativa de CYPE



Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
4	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tomillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	14.988	50.240	29.83	Vástago	0.000	90.432	0.00	29.83	29.83
	Aplastamiento	14.988	60.122	24.93	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	12.302	50.240	24.49	Vástago	0.000	90.432	0.00	24.49	24.49
	Aplastamiento	12.302	103.429	11.89	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	12.282	50.240	24.45	Vástago	0.000	90.432	0.00	24.45	24.45
	Aplastamiento	12.282	103.494	11.87	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
4	Sección transversal	14.942	50.240	29.74	Vástago	0.000	90.432	0.00	29.74	29.74
	Aplastamiento	14.942	97.369	15.35	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

4) Viga (b) IPE 330

-Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

0.10 kN ≤ 306.20 kN ✓

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

V_{Ed} : 0.10 kN

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$V_{c,Rd}$: 306.20 kN

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

A_v : 2025 mm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

f_{yd} : 261.90 N/mm²

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

0.01 kN·m ≤ 35.80 kN·m ✓

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

M_{Ed} : 0.01 kN·m

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$M_{c,Rd}$: 35.80 kN·m

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

W_{pl} : 136687.5 mm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

f_{yd} : 261.90 N/mm²

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

Producido por una versión educativa de CYPE

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$$

siendo

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 153.10 \text{ kN}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$44.21 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \frac{22.43}{\text{N/mm}^2}$$

τ_{yz} : Tensión tangencial yz

$$\tau_{yz} : \frac{0.00}{\text{N/mm}^2}$$

τ_{xz} : Tensión tangencial xz

$$\tau_{xz} : \frac{-22.00}{\text{N/mm}^2}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{\text{N/mm}^2}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{\text{N/mm}^2}$$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd}$$

$$22.51 \text{ N/mm}^2 \leq 228.15 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$$\sigma_{c,Ed} : \frac{22.51}{\text{N/mm}^2}$$

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$$\sigma_{b,Rd} : \frac{228.15}{\text{N/mm}^2}$$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

$$\chi : \frac{0.87}{\text{N/mm}^2}$$

f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$

$$f_{yd} : \frac{2.57}{\text{N/mm}^2}$$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\phi : \underline{0.66}$$

α : Coeficiente de imperfección

$$\alpha : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{12 \cdot f_y}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.45}$$

Donde:

β : Coeficiente de pandeo

$$\beta : \underline{2.00}$$

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

$$L : \underline{45} \text{ mm}$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

E : Módulo de elasticidad

$$E : \underline{210000.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.25 \leq 1 \quad \checkmark$$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u dt}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

d : Diámetro del tornillo.

$$d : \underline{16} \text{ mm}$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$$

d_o : Diámetro del agujero.

$$d_o : \underline{18} \text{ mm}$$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	9.14	87.47
z	0.50	27.0	--	-11.88	52.48

α : coeficiente igual al menor de los valores:

$$\frac{e_1}{3d_o}; \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0$$

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

$$47.52 \text{ kN} \leq 239.52 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{47.52} \text{ kN}$$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{239.52} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{1584.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

- Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$0.26 \leq 1 \checkmark$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,l} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

t : Espesor de la chapa

$t : \underline{7.5} \text{ mm}$

d : Diámetro del tornillo.

$d : \underline{16} \text{ mm}$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$

d_0 : Diámetro del agujero.

$d_0 : \underline{18} \text{ mm}$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,l}$ (kN)
y	1.00	112.5	--	-9.07	98.40
z	0.50	27.0	--	-11.88	49.20

α : coeficiente igual al menor de los valores:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

$47.52 \text{ kN} \leq 233.62 \text{ kN} \checkmark$

Producido por una versión educativa de CYPE

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{47.52} \text{ kN}$$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \underline{233.62} \text{ kN}$$

$$N_{ef,Rd} = \min \left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \underline{1545.00} \text{ mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120° . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

- $\sigma_{||}$: tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.
- τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.
- $\tau_{||}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	270	7.5	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	12.7	12.7	17.6	39.7	10.28	12.8	3.89	410.0	0.85

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

- i) en la dirección de la fuerza que se transmite:
 - $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
 - $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.
- ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:
 - $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
 - $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

$$- \text{Para } e_1 \text{ y } e_2 \begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \tag{8.7}$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s, según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción F_{t,Rd} por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, F_{p,Rd}, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solidado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

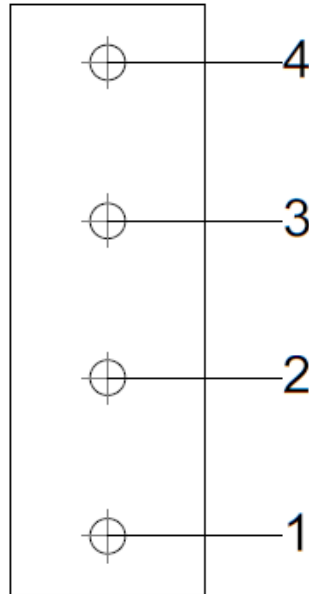
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

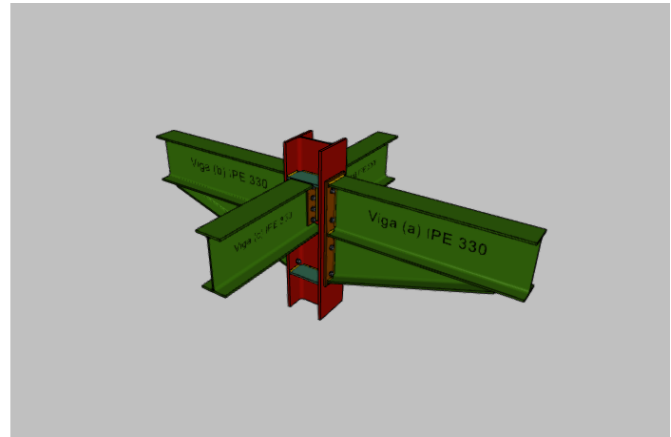
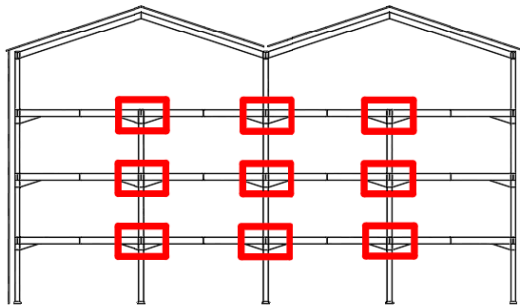
Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
4	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	14.988	50.240	29.83	Vástago	0.000	90.432	0.00	29.83	29.83
	Aplastamiento	14.988	60.122	24.93	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	12.302	50.240	24.49	Vástago	0.000	90.432	0.00	24.49	24.49
	Aplastamiento	12.302	103.429	11.89	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	12.282	50.240	24.45	Vástago	0.000	90.432	0.00	24.45	24.45
	Aplastamiento	12.282	103.494	11.87	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
4	Sección transversal	14.942	50.240	29.74	Vástago	0.000	90.432	0.00	29.74	29.74
	Aplastamiento	14.942	97.369	15.35	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

Zutabe zentralen eta haben arteko lotura

Zutabe Zentralek portikoaren barneko IPE 330 Haben muturreko plakak jasotzen dituzte hegaletan eta M16-ko torlojuen bidez finkatu egiten dira. Zutabearen ariman bi habetxo finkatzen dira tailerrean aurretik soldatutako belarrietan berriz ere M16-ko torloju bidez. Gainera lotura honek tailerrean soldatutako bi zurruntzaile daramatza.



3.50 Irudia – Zutabe zentralen eta haben arteko lotura

Comprobaciones

1) Pilar HE 260 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 70\varepsilon$$

$$22.50 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \underline{225} \text{ mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \underline{10.0} \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$

$$132.71 \text{ kN} \leq 904.82 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \underline{132.71} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \underline{904.82} \text{ kN}$$

Donde:

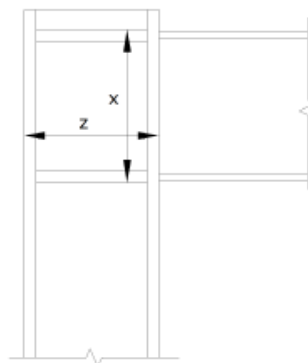
$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2600	49.29	353.83	13.93
x	6649	132.71	904.82	14.67



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$94.37 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-94.37} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-77.58} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{69} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$85.21 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{85.21} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{84.36} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{83} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$94.37 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-94.37} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-77.58} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{69} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$85.21 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{85.21} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{84.36} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{83} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Comprobaciones por unión con elemento "

– Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

0.53 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal

σ : 0.00 N/mm²

τ: Tensión tangencial

τ : 0.31 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

41.67 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal

σ : 41.67 N/mm²

τ: Tensión tangencial

τ : 0.18 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 330'

– Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

145.52 kN ≤ 180.86 kN ✓

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

F_{T,Ed} : 145.52 kN

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

F_{T,Rd} : 180.86 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

F_{T,3,Rd} : 180.86 kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-arma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$$

F_{T,2,Rd} : 251.98 kN

Producido por una versión educativa de CYPE

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,1,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 4.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{17.5} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{20} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{124} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_w deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_w para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

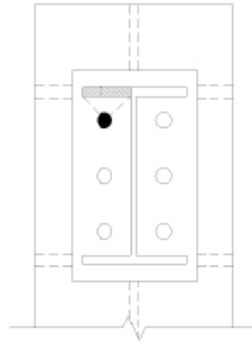
$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1216	27.22	318.59	8.54
Σ		27.22	318.59	8.54

Producido por una versión educativa de CYPE



– Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$95.80 \text{ kN} \leq 179.64 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{95.80} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{179.64} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{686.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 330'

– Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$145.52 \text{ kN} \leq 180.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{145.52} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,2,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,1,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 4.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_r^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_r : Espesor de la chapa

$$t_r : \underline{17.5} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{20} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{124} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

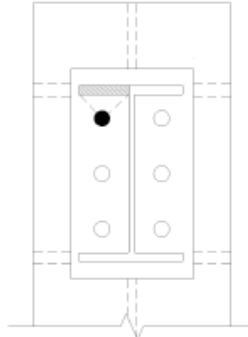
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1216	27.22	318.59	8.54
Σ		27.22	318.59	8.54



Producido por una versión educativa de CYPE

– Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

95.80 kN ≤ 179.64 kN ✓

Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axial.

N_{Ed} : 95.80 kN

N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

N_{t,Rd} : 179.64 kN

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A: Área sometida a tracción

A : 686.00 mm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo.

f_{yd} : 261.90 N/mm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (c) IPE 330'

– Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

73.80 kN ≤ 1094.21 kN ✓

Donde:

N_{Ed}: Esfuerzo de cálculo

N_{Ed} : 73.80 kN

N_{Rd}: Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, V_{pl,Rd}

N_{Rd} : 1094.21 kN

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

A_v: Área sometida a cortante

A_v : 5560 mm²

$$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$$

t: Espesor del elemento en la superficie de unión

t : 10.0 mm

t_p: Espesor del elemento de unión

t_p : 8.0 mm

h_p: Altura del elemento de unión

h_p : 270 mm

f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

f_u : 410.00 N/mm²

γ_{M2}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

γ_{M2} : 1.25

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

5.53 kN ≤ 139.37 kN ✓

N_{Ed}: Esfuerzo de cálculo

N_{Ed} : 5.53 kN

N_{Rd}: Resistencia de cálculo del alma a flexión

N_{Rd} : 139.37 kN

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2\mu + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{2 \cdot (1-\beta) \cdot \gamma_{M5}} + \frac{8 W_{pl} f_y}{(h_{tw} - t_p) \gamma_{M5}}$$

Donde:

t_w: Espesor del alma.

t_w : 10.0 mm

k_m: Coeficiente de interacción

k_m : 1.00

$$\mu = \frac{h_p}{h_{tw}}$$

μ : 1.45

h_p: Altura del elemento de unión

h_p : 270 mm

h_{tw}: Canto del alma entre radios de acuerdo

h_{tw} : 187 mm

$$\beta = \frac{t_p}{h_{tw}} \leq 0.2$$

β : 0.04

t_p: Espesor del elemento de unión

t_p : 8.0 mm

W_{pl}: Modulo plástico resistente

W_{pl} : 3375 mm³

$$W_{pl} = \frac{I_{ch} \cdot t_w^2}{4}$$

I_{ch}: Longitud de la línea de charnela

I_{ch} : 135 mm

$$I_{ch} = \frac{h_p}{2}$$

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M5}: Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.

γ_{M5} : 1.00

Producido por una versión educativa de CYPE

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (d) IPE 330'

– Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$73.80 \text{ kN} \leq 1094.21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{73.80} \text{ kN}$$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$

$$N_{Rd} : \underline{1094.21} \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{5560} \text{ mm}^2$$

$$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$$

t : Espesor del elemento en la superficie de unión

$$t : \underline{10.0} \text{ mm}$$

t_p : Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

h_p : Altura del elemento de unión

$$h_p : \underline{270} \text{ mm}$$

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$5.53 \text{ kN} \leq 139.37 \text{ kN} \quad \checkmark$$

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{5.53} \text{ kN}$$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión

$$N_{Rd} : \underline{139.37} \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2\mu + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{2 \cdot (1-\beta) \cdot \gamma_{M5}} + \frac{8 W_{pl} f_y}{(h_{lw} - t_p) \gamma_{M5}}$$

Donde:

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{10.0} \text{ mm}$$

k_m : Coeficiente de interacción

$$k_m : \underline{1.00}$$

$$\mu = \frac{h_p}{h_{lw}}$$

$$\mu : \underline{1.45}$$

h_p : Altura del elemento de unión

$$h_p : \underline{270} \text{ mm}$$

h_{lw} : Canto del alma entre radios de acuerdo

$$h_{lw} : \underline{187} \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{t_p}{h_{lw}} \leq 0.2$$

$$\beta : \underline{0.04}$$

t_p : Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

W_{pl} : Modulo plástico resistente

$$W_{pl} : \underline{3375} \text{ mm}^3$$

$$W_{pl} = \frac{I_{xt} \cdot t_w^2}{4}$$

l_{ch} : Longitud de la línea de charnela

l_{ch} : 135 mm

$$l_{ch} = \frac{h_p}{2}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{ms} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.

γ_{ms} : 1.00

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ _∥ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	66.7	66.7	0.0	133.5	34.59	66.7	20.34	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	12.7	22.0	5.69	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	60.3	60.3	0.0	120.5	31.23	60.3	18.37	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	18.3	31.6	8.19	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	66.7	66.7	0.0	133.5	34.59	66.7	20.34	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	12.7	22.0	5.69	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	60.3	60.3	0.0	120.5	31.23	60.3	18.37	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	18.3	31.6	8.19	0.0	0.00	410.0	0.85

Producido por una versión educativa de CYPE

2) Viga (a) IPE 330

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

145.52 kN ≤ 175.41 kN ✓

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

F_{T,Ed} : 145.52 kN

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

F_{T,Rd} : 175.41 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

F_{T,3,Rd} : 180.86 kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} \quad F_{T,2,Rd} : \underline{175.41} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,1,Rd} : \underline{322.54} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 4.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad F_{T,Rd} : \underline{175.41} \text{ kN}$$

Donde:

$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$	$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$
$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$	$M_{pl,2,Rd} : \underline{3.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$
$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos	$\sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$
t_f : Espesor de la chapa	$t_f : \underline{14.0} \text{ mm}$
m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela	$m : \underline{36} \text{ mm}$
n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$	$n : \underline{45} \text{ mm}$
$\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*	$\sum l_{eff,1} : \underline{226} \text{ mm}$
$\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*	$\sum l_{eff,2} : \underline{237} \text{ mm}$
f_y : Tensión de límite elástico.	$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_r$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_r para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Producido por una versión educativa de CYPE

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad 245.08 \text{ kN} \leq 506.36 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.	$N_{Ed} : \underline{245.08} \text{ kN}$
$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.	$N_{c,Rd} : \underline{506.36} \text{ kN}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión	$A : \underline{1933} \text{ mm}^2$
f'_y : Tensión de límite elástico reducida.	$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$	

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00}$ N/mm²
 ρ : Factor de reducción $\rho : \underline{0.000}$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90}$$
 N/mm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

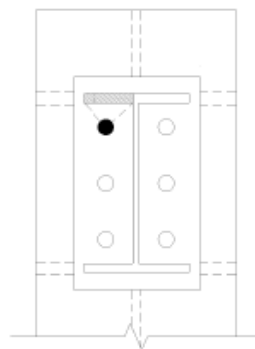
$$f_y : \underline{275.00}$$
 N/mm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	920	37.61	240.95	15.61
Σ		37.61	240.95	15.61



- Alma

Cargas Concentradas (CTE DB SE A, 6.3.3.5)

No es necesario rigidizar el alma de una pieza sometida a cargas concentradas actuando sobre las alas si se cumple que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad (6.42)$$

$$0.18 \leq 1 \quad \checkmark$$

Donde:

F_{Ed}: Valor de cálculo de la carga concentrada,

$$F_{Ed} : \underline{47.52} \text{ kN}$$

F_{b,Rd}: Resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas.

$$F_{b,Rd} : \underline{268.58} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_{yw} \cdot t_w \cdot L_{ef}}{\gamma_{M1}} \quad (6.43)$$

Donde:

$$L_{ef} = \chi_F \cdot \ell_y \quad (6.44)$$

$$L_{ef} : \underline{137.00} \text{ mm}$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1 \quad (6.45)$$

$$\chi_F : \underline{1.00}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} \quad (6.46)$$

$$\bar{\lambda}_F : \underline{0.45}$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{d} \quad (6.47)$$

$$F_{cr} : \underline{1570.57} \text{ kN}$$

Los valores de ℓ_y y de k_F dependen del caso considerado, de entre los representados en la figura 6.6:

- Caso a): carga (o reacción) aplicada a un ala y equilibrada por cortantes en el alma.

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{d}{a} \right)^2$$

$$k_F : \underline{6.05}$$

$$\ell_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \leq a$$

$$\ell_y : \underline{137}$$

viniedo cada coeficiente dado por las expresiones:

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w}$$

$$m_1 : \underline{21.33}$$

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 \left(\frac{d}{t_f} \right) & \text{si } \bar{\lambda}_F > 0,5 \text{ (cabe aproximar } \bar{\lambda}_F \text{ con la} \\ & \text{obtenida usando } m_2=0 \text{ para} \\ 0 & \text{si } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \text{ aproximar } \ell_y \end{cases}$$

$$m_2 : \underline{0.00}$$

Donde:

s_s: Longitud de la entrega rígida de la carga.

$$s_s : \underline{8} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8} \text{ mm}$$

t_f: Espesor del ala.

$$t_f : \underline{12} \text{ mm}$$

f_{yw}: Tensión de límite elástico del alma.

$$f_{yw} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{yb}: Tensión de límite elástico del ala.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.0} \text{ N/mm}^2$$

d: distancia entre alas

$$d : \underline{307} \text{ mm}$$

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$95.80 \text{ kN} \leq 245.01 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{95.80} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{245.01} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{935.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120° . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	11.5	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	4	271	7.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	11.5	90.00
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	4	304	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	6	160	11.5	72.12
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	5	1000	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	8	160	11.5	72.12

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	88.3	88.3	0.1	176.7	45.78	88.3	26.93	410.0	0.85
Soldadura del alma	84.0	84.0	21.7	172.2	44.61	84.0	25.61	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	0.0	0.0	0.4	0.7	0.19	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	62.7	62.7	21.6	130.9	33.91	62.7	19.12	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	60.6	83.2	0.0	156.4	40.53	81.3	24.78	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	16.8	29.1	7.53	0.1	0.03	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- e₁ ≥ 1.2 d₀ del eje del agujero al borde de la pieza.
- p₁ ≥ 2.2 d₀ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- e₂ ≥ 1.5 d₀ del eje del agujero al borde de la pieza.
- p₂ ≥ 3.0 d₀ entre ejes de agujeros.

siendo d₀ el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e₁ y e₂ $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será p ≤ 14·t ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será p ≤ 28·t ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarró del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

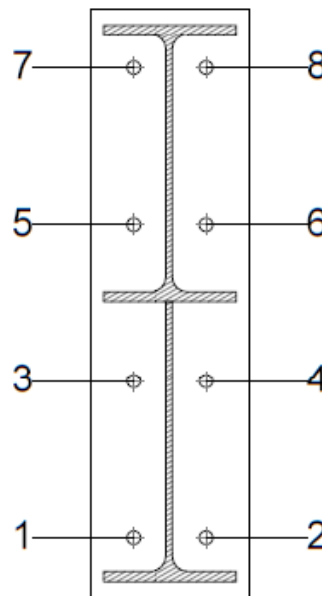
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
7	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
8	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0

--: La comprobación no procede.

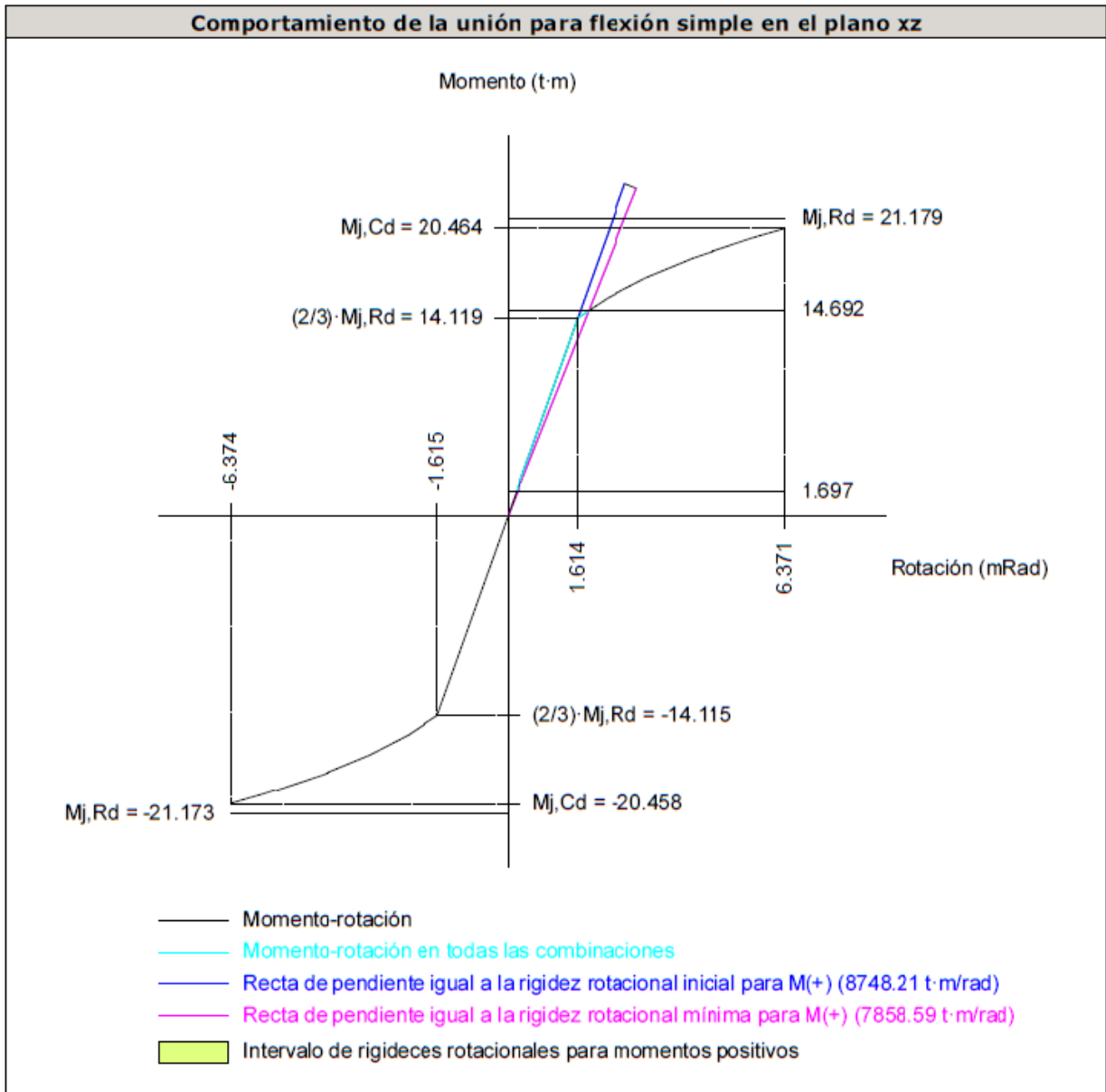
Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	49.879	64.340	77.52	Vástago	6.025	90.432	6.66	77.52	77.52
	Aplastamiento	49.879	183.680	27.16	Punzonamiento	6.025	219.639	2.74		
2	Sección transversal	49.879	64.340	77.52	Vástago	6.025	90.432	6.66	77.52	77.52
	Aplastamiento	49.879	183.680	27.16	Punzonamiento	6.025	219.639	2.74		
3	Sección transversal	6.912	64.340	10.74	Vástago	25.055	90.432	27.71	21.83	27.71
	Aplastamiento	6.912	183.680	3.76	Punzonamiento	25.055	219.639	11.41		
4	Sección transversal	6.912	64.340	10.74	Vástago	25.055	90.432	27.71	21.83	27.71
	Aplastamiento	6.912	183.680	3.76	Punzonamiento	25.055	219.639	11.41		
5	Sección transversal	5.915	64.340	9.19	Vástago	54.247	90.432	59.99	42.85	59.99
	Aplastamiento	5.915	183.680	3.22	Punzonamiento	54.247	219.639	24.70		
6	Sección transversal	5.915	64.340	9.19	Vástago	54.247	90.432	59.99	42.85	59.99
	Aplastamiento	5.915	183.680	3.22	Punzonamiento	54.247	219.639	24.70		
7	Sección transversal	5.920	64.340	9.20	Vástago	75.019	90.432	82.96	59.25	82.96
	Aplastamiento	5.920	183.680	3.22	Punzonamiento	75.019	219.639	34.16		
8	Sección transversal	5.920	64.340	9.20	Vástago	75.019	90.432	82.96	59.25	82.96
	Aplastamiento	5.920	183.680	3.22	Punzonamiento	75.019	219.639	34.16		

Producido por una versión educativa de CYPE

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	789.63	8748.21
Calculada para momentos negativos	789.63	8742.50

Producido por una versión educativa de CYPE



Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

1.39 ≤ 1.80 ✓

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

β : 1.39

Donde:

F_{T,Rd1} : Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

F_{T,Rd1} : 251.98 kN

F_{T,Rd3} : Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

F_{T,Rd3} : 180.86 kN

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$144.13 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 207.77 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed}: Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{144.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

M_{j,Rd}: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{207.77} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} \cdot d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.29 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed}: Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{1.87} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd}: Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{6.37} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h: Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{607} \text{ mm}$$

β: Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.39}$$

3) Viga (b) IPE 330

– Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$145.52 \text{ kN} \leq 175.41 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{145.52} \text{ kN}$$

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{175.41} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{175.41} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{322.54} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 4.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{175.41} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{3.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{14.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{36} \text{ mm}$$

n : Igual e_{mn} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{45} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{226} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma l_{eff,2} : \underline{237} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\Sigma l_{e,i}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz $l_{e,i}$ para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Producido por una versión educativa de CYPE

– Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$245.08 \text{ kN} \leq 506.36 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{245.08} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{506.36} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{1933} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

ρ : Factor de reducción

$$\rho : \underline{0.000}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

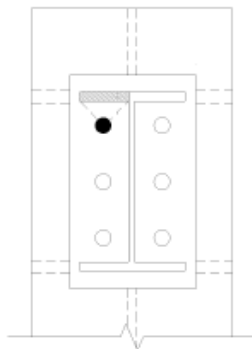
$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	920	37.61	240.95	15.61
Σ		37.61	240.95	15.61

Producido por una versión educativa de CYPE



- Alma

Cargas Concentradas (CTE DB SE A, 6.3.3.5)

No es necesario rigidizar el alma de una pieza sometida a cargas concentradas actuando sobre las alas si se cumple que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad (6.42)$$

$$0.18 \leq 1 \quad \checkmark$$

Donde:

F_{Ed} : Valor de cálculo de la carga concentrada,

$$F_{Ed} : \underline{47.52} \text{ kN}$$

$F_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas.

$$F_{b,Rd} : \underline{268.58} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_{yw} \cdot t_w \cdot L_{ef}}{\gamma_{M1}} \quad (6.43)$$

Donde:

$$L_{ef} = \chi_F \cdot \ell_y \quad (6.44) \quad L_{ef} : \underline{137.00} \text{ mm}$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1 \quad (6.45) \quad \chi_F : \underline{1.00}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} \quad (6.46) \quad \bar{\lambda}_F : \underline{0.45}$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{d} \quad (6.47) \quad F_{cr} : \underline{1570.57} \text{ kN}$$

Los valores de l_y y de k_F dependen del caso considerado, de entre los representados en la figura 6.6:

- Caso a): carga (o reacción) aplicada a un ala y equilibrada por cortantes en el alma.

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{d}{a} \right)^2 \quad k_F : \underline{6.05}$$

$$\ell_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) \leq a \quad l_y : \underline{137}$$

viniedo cada coeficiente dado por las expresiones:

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w} \quad m_1 : \underline{21.33}$$

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 \left(\frac{d}{t_f} \right) & \text{si } \bar{\lambda}_F > 0,5 \text{ (cabe aproximar } \bar{\lambda}_F \text{ con la} \\ 0 & \text{si } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \text{ aproximar } l_y \end{cases} \quad m_2 : \underline{0.00}$$

Donde:

s_s: Longitud de la entrega rígida de la carga. **s_s** : 8 mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : 8 mm

t_f: Espesor del ala. **t_f** : 12 mm

f_{yw}: Tensión de límite elástico del alma. **f_{yw}** : 275.00 N/mm²

f_{yf}: Tensión de límite elástico del ala. **f_{yf}** : 275.00 N/mm²

E: Módulo de elasticidad. **E** : 210000.0 N/mm²

d: distancia entre alas **d** : 307 mm

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción **N_{Ed}** deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad \mathbf{95.80 \text{ kN} \leq 245.01 \text{ kN} \checkmark}$$

Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil. **N_{Ed}** : 95.80 kN

N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción. **N_{t,Rd}** : 245.01 kN

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A: Área sometida a tracción **A** : 935.00 mm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo. **f_{yd}** : 261.90 N/mm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	11.5	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	4	271	7.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	11.5	90.00
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	4	304	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	6	160	11.5	72.12
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	5	1000	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	8	160	11.5	72.12

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	88.3	88.3	0.1	176.7	45.78	88.3	26.93	410.0	0.85
Soldadura del alma	84.0	84.0	21.7	172.2	44.61	84.0	25.61	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	0.0	0.0	0.4	0.7	0.19	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	62.7	62.7	21.6	130.9	33.91	62.7	19.12	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	60.6	83.2	0.0	156.4	40.53	81.3	24.78	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	16.8	29.1	7.53	0.1	0.03	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

- 2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

- 3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$ por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_u A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

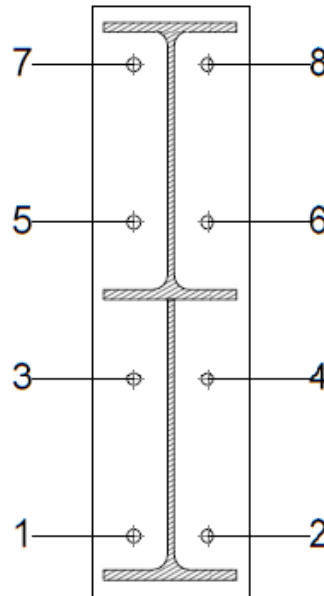
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

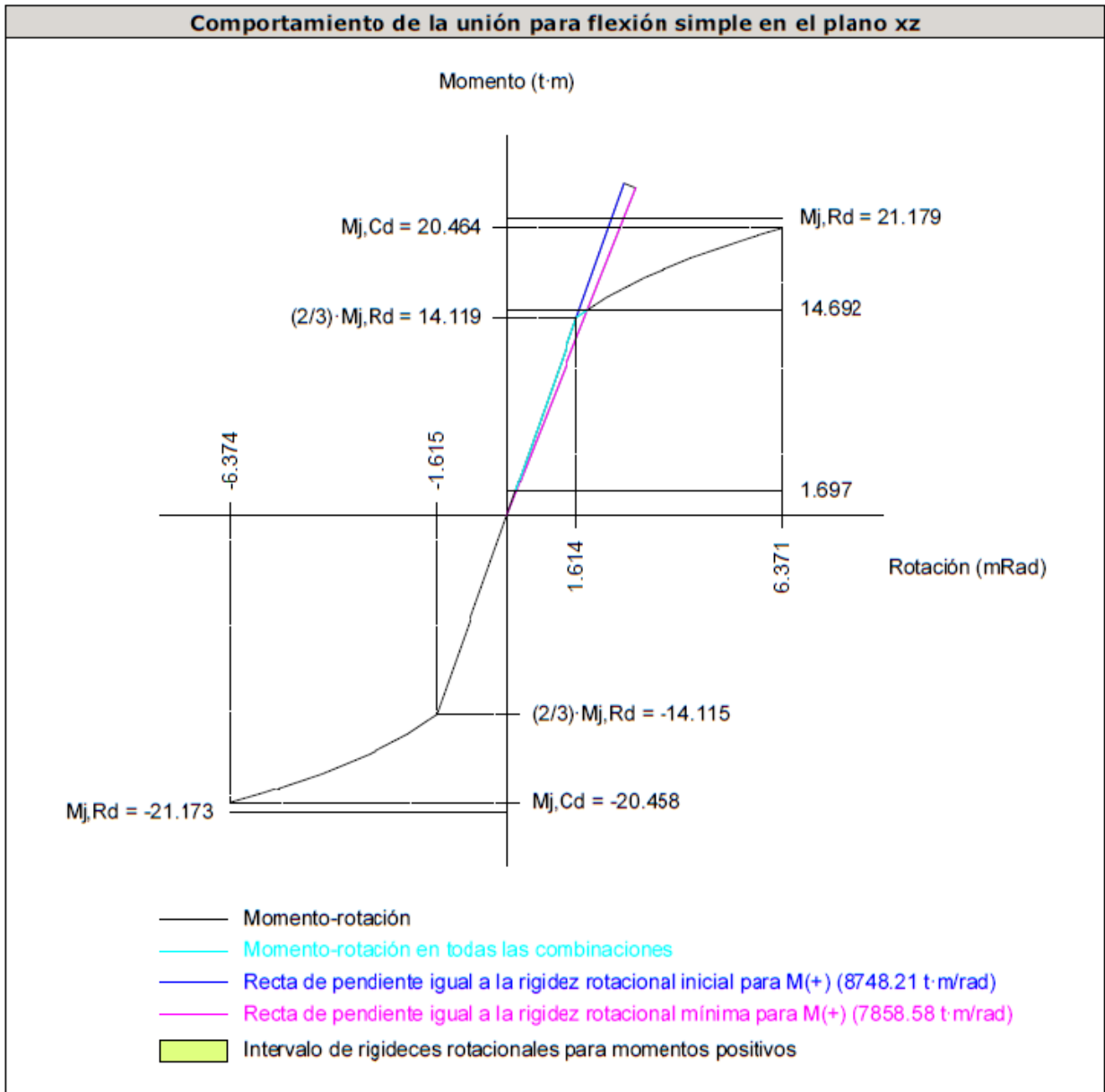
Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
7	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
8	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tomillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	49.879	64.340	77.52	Vástago	6.025	90.432	6.66	77.52	77.52
	Aplastamiento	49.879	183.680	27.16	Punzonamiento	6.025	219.639	2.74		
2	Sección transversal	49.879	64.340	77.52	Vástago	6.025	90.432	6.66	77.52	77.52
	Aplastamiento	49.879	183.680	27.16	Punzonamiento	6.025	219.639	2.74		
3	Sección transversal	6.912	64.340	10.74	Vástago	25.055	90.432	27.71	21.83	27.71
	Aplastamiento	6.912	183.680	3.76	Punzonamiento	25.055	219.639	11.41		
4	Sección transversal	6.912	64.340	10.74	Vástago	25.055	90.432	27.71	21.83	27.71
	Aplastamiento	6.912	183.680	3.76	Punzonamiento	25.055	219.639	11.41		
5	Sección transversal	5.915	64.340	9.19	Vástago	54.247	90.432	59.99	42.85	59.99
	Aplastamiento	5.915	183.680	3.22	Punzonamiento	54.247	219.639	24.70		
6	Sección transversal	5.915	64.340	9.19	Vástago	54.247	90.432	59.99	42.85	59.99
	Aplastamiento	5.915	183.680	3.22	Punzonamiento	54.247	219.639	24.70		
7	Sección transversal	5.920	64.340	9.20	Vástago	75.020	90.432	82.96	59.25	82.96
	Aplastamiento	5.920	183.680	3.22	Punzonamiento	75.020	219.639	34.16		
8	Sección transversal	5.920	64.340	9.20	Vástago	75.020	90.432	82.96	59.25	82.96
	Aplastamiento	5.920	183.680	3.22	Punzonamiento	75.020	219.639	34.16		

Producido por una versión educativa de CYPE

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	789.63	8748.21
Calculada para momentos negativos	789.63	8742.50



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.39 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.39}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$144.13 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 207.77 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{144.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{207.77} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.29 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{1.87} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{6.37} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{607} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.39}$$

4) Viga (c) IPE 330

– Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 306.20 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \underline{306.20} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{2025} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 35.80 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$M_{c,Rd} : \underline{35.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

$W_{pl} : \underline{136687.5} \text{ mm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$

siendo

$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$

0.10 kN ≤ 153.10 kN

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

86.18 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ : Tensión normal

$\sigma : \underline{-43.09} \text{ N/mm}^2$

τ_{yz} : Tensión tangencial yz

$\tau_{yz} : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$

τ_{xz} : Tensión tangencial xz

$\tau_{xz} : \underline{-43.09} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd}$

43.09 N/mm² ≤ 228.15 N/mm² ✓

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$\sigma_{c,Ed} : \underline{43.09} \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$\sigma_{b,Rd} : \underline{228.15} \text{ N/mm}^2$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

$$\chi : \underline{0.87}$$

f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$

$$f_{yd} : \underline{2.57} \text{ N/mm}^2$$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\phi : \underline{0.66}$$

α : Coeficiente de imperfección

$$\alpha : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{12 \cdot f_y}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.45}$$

Donde:

β : Coeficiente de pandeo

$$\beta : \underline{2.00}$$

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

$$L : \underline{45} \text{ mm}$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

E : Módulo de elasticidad

$$E : \underline{210000.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.49 \leq 1 \quad \checkmark$$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

d : Diámetro del tornillo.

$$d : \underline{16} \text{ mm}$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$$

d_o : Diámetro del agujero.

$$d_o : \underline{18} \text{ mm}$$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	17.45	87.47
z	0.50	27.0	--	-23.27	52.48

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,j}$ (kN)
α : coeficiente igual al menor de los valores: $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0$ e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.					

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

93.07 kN ≤ 239.52 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{93.07} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{239.52} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{1584.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Producido por una versión educativa de CYPE

-Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

0.51 ≤ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

t : Espesor de la chapa

$t : \underline{7.5} \text{ mm}$

d : Diámetro del tornillo.

$d : \underline{16} \text{ mm}$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$

d_0 : Diámetro del agujero.

$d_0 : \underline{18} \text{ mm}$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	1.00	112.5	--	-17.45	98.40
z	0.50	27.0	--	-23.27	49.20

α : coeficiente igual al menor de los valores:
 $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$
 e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.
 p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

93.07 kN ≤ 233.62 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{93.07} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{233.62} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{1545.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Producido por una versión educativa de CYPE

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	270	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	24.4	24.4	34.5	77.1	19.98	29.7	9.06	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

$$\text{- Para } e_1 \text{ y } e_2 \begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t₀: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

siendo

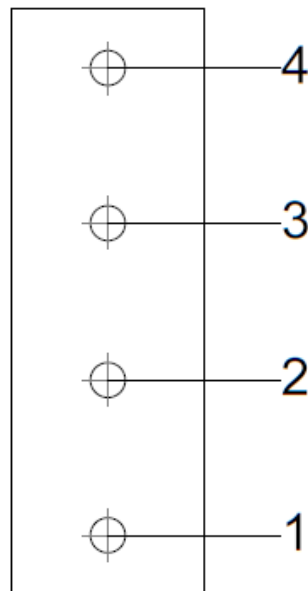
F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.

Producido por una versión educativa de CYPE



Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
4	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tomillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	29.081	50.240	57.88	Vástago	0.000	90.432	0.00	57.88	57.88
	Aplastamiento	29.081	59.819	48.61	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	23.982	50.240	47.73	Vástago	0.000	90.432	0.00	47.73	47.73
	Aplastamiento	23.231	90.066	25.79	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	23.984	50.240	47.74	Vástago	0.000	90.432	0.00	47.74	47.74
	Aplastamiento	23.984	103.625	23.15	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
4	Sección transversal	29.087	50.240	57.90	Vástago	0.000	90.432	0.00	57.90	57.90
	Aplastamiento	29.087	97.518	29.83	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

5) Viga (d) IPE 330

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$ que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

0.10 kN ≤ 306.20 kN ✓

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

V_{Ed} : 0.10 kN

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$V_{c,Rd}$: 306.20 kN

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

A_v : 2025 mm²

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

f_{yd} : 261.90 N/mm²

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

0.01 kN·m ≤ 35.80 kN·m ✓

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

M_{Ed} : 0.01 kN·m

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$M_{c,Rd}$: 35.80 kN·m

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

W_{pl} : 136687.5 mm³

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

f_{yd} : 261.90 N/mm²

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$$

siendo

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{b,Rd}$

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 153.10 \text{ kN}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$86.18 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \frac{-43.10}{\text{N/mm}^2}$$

τ_{yz} : Tensión tangencial yz

$$\tau_{yz} : \frac{0.00}{\text{N/mm}^2}$$

τ_{xz} : Tensión tangencial xz

$$\tau_{xz} : \frac{-43.09}{\text{N/mm}^2}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{\text{N/mm}^2}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{\text{N/mm}^2}$$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd}$$

$$43.10 \text{ N/mm}^2 \leq 228.15 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$$\sigma_{c,Ed} : \frac{43.10}{\text{N/mm}^2}$$

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$$\sigma_{b,Rd} : \frac{228.15}{\text{N/mm}^2}$$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

$$\chi : \frac{0.87}{\text{N/mm}^2}$$

f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$

$$f_{yd} : \frac{2.57}{\text{N/mm}^2}$$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{12 \cdot f_y}}}$$

Donde:

β : Coeficiente de pandeo

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

t : Espesor de la chapa

E : Módulo de elasticidad

ϕ : 0.66

α : 0.49

$\bar{\lambda}$: 0.45

β : 2.00

L : 45 mm

t : 8.0 mm

E : 210000.00 N/mm²

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

0.49 ≤ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,l} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

t : Espesor de la chapa

d : Diámetro del tornillo.

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

d_0 : Diámetro del agujero.

f_u : 410.00 N/mm²

t : 8.0 mm

d : 16 mm

γ_{M2} : 1.25

f_{ub} : 800.00 N/mm²

d_0 : 18 mm

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,l}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	17.45	87.47
z	0.50	27.0	--	-23.27	52.48

α : coeficiente igual al menor de los valores:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarr (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

93.07 kN ≤ 239.52 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

N_{Ed} : 93.07 kN

Producido por una versión educativa de CYPE

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{239.52} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{1584.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

- Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$0.51 \leq 1 \checkmark$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

t : Espesor de la chapa

$t : \underline{7.5} \text{ mm}$

d : Diámetro del tornillo.

$d : \underline{16} \text{ mm}$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$

d_0 : Diámetro del agujero.

$d_0 : \underline{18} \text{ mm}$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	1.00	112.5	--	-17.45	98.40
z	0.50	27.0	--	-23.27	49.20

α : coeficiente igual al menor de los valores:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

$93.07 \text{ kN} \leq 233.62 \text{ kN} \checkmark$

Producido por una versión educativa de CYPE

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{93.07} \text{ kN}$$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \underline{233.62} \text{ kN}$$

$$N_{ef,Rd} = \min \left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \underline{1545.00} \text{ mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{||}$: tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{||}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	270	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	24.4	24.4	34.5	77.1	19.98	29.7	9.06	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s, según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción F_{t,Rd} por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, F_{p,Rd}, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

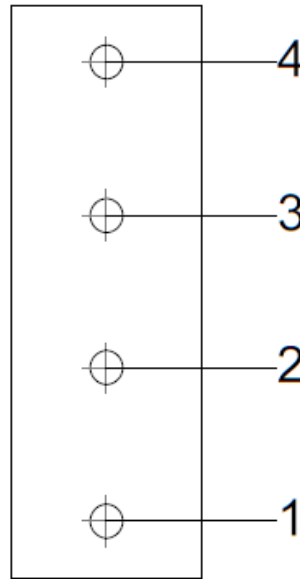
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

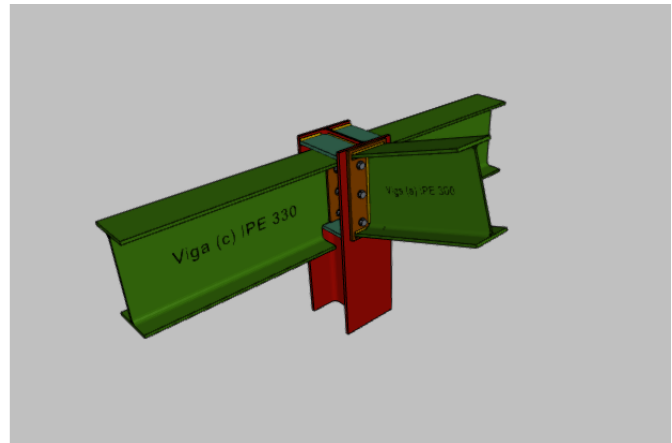
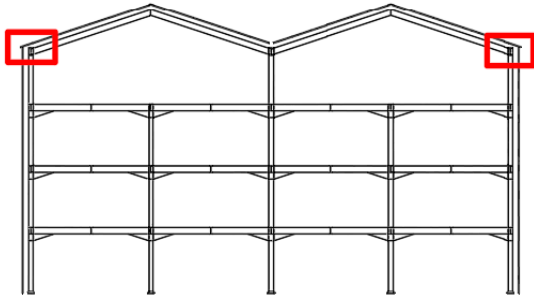
Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
4	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	29.081	50.240	57.88	Vástago	0.000	90.432	0.00	57.88	57.88
	Aplastamiento	29.081	59.819	48.61	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	23.982	50.240	47.73	Vástago	0.000	90.432	0.00	47.73	47.73
	Aplastamiento	23.231	90.066	25.79	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	23.984	50.240	47.74	Vástago	0.000	90.432	0.00	47.74	47.74
	Aplastamiento	23.984	103.625	23.15	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
4	Sección transversal	29.087	50.240	57.90	Vástago	0.000	90.432	0.00	57.90	57.90
	Aplastamiento	29.087	97.518	29.83	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

Alboko Zutabeen eta Teilatuko habearen arteko lotura

Alboko Zutabea portikoaren teilatuko IPE 300 Habearen muturreko plaka jasotzen du hegalean eta M16-ko torlojuen bidez finkatu egiten da. Zutabearen ariman bi habetxo finkatzen dira tailerlean aurretik soldatutako belarrietan, berriz ere M16-ko torloju bidez. Gainera lotura honek tailerlean soldatutako bi zurruntzaile daramatza.



3.51 Irudia – Alboko Zutabearen eta Teilatuko habearen arteko lotura

1) Pilar HE 240 A

- Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 70\varepsilon$$

27.47 ≤ 64.71 ✓

Donde:

d_{wc}: Canto del alma

d_{wc} : 206 mm

t_{wc}: Espesor del alma.

t_{wc} : 7.5 mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

ε : 0.92

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$

183.19 kN ≤ 323.19 kN ✓

V_{wp,Ed}: Esfuerzo cortante de cálculo.

V_{wp,Ed} : 183.19 kN

V_{wp,Rd}: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

V_{wp,Rd} : 323.19 kN

Donde:

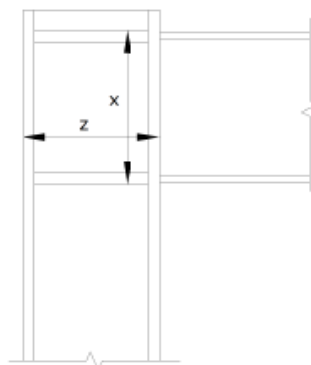
$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

A_{vc}: Área sometida a cortante

f_{yd}: Resistencia de cálculo.

f_{yd} : 261.90 N/mm²

Dirección	A _{vc} (mm ²)	V _{wp,Ed} (kN)	V _{wp,Rd} (kN)	Aprov. (%)
z	1725	131.09	234.75	55.84
x	2375	183.19	323.19	56.68



Producido por una versión educativa de CYPE

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$66.16 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-66.16} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-49.42} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{62} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$72.53 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{72.53} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{64.62} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{74} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$66.16 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-66.16} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-49.42} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{62} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$72.53 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{72.53} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{64.62} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{74} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

- Comprobaciones por unión con elemento "

- Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

69.50 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal

σ : 69.50 N/mm²

τ: Tensión tangencial

τ : 0.00 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Producido por una versión educativa de CYPE

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 300'

- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

113.77 kN ≤ 180.86 kN ✓

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

F_{T,Ed} : 113.77 kN

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

F_{T,Rd} : 180.86 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

F_{T,3,Rd} : 180.86 kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-arma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

F_{T,2,Rd} : 190.32 kN

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-arma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

F_{T,1,Rd} : 236.97 kN

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 3.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

F_{T,Rd} : 180.86 kN

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

M_{pl,1,Rd} : 1.14 kN·m

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

M_{pl,2,Rd} : 1.94 kN·m

∑F_{t,Rd}: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

∑F_{t,Rd} : 180.86 kN

t_r : Espesor de la chapa	t_r :	<u>12.0</u> mm
m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela	m :	<u>19</u> mm
n : Igual e _{min} pero n ≤ 1,25·m	n :	<u>24</u> mm
Σl_{eff,1} : Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*	Σl_{eff,1} :	<u>121</u> mm
Σl_{eff,2} : Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*	Σl_{eff,2} :	<u>206</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{M0} :	<u>1.05</u>

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{er} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axial.

N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

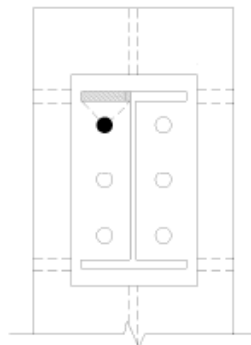
f_y: Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1072	22.83	280.81	8.13
Σ		22.83	280.81	8.13



Producido por una versión educativa de CYPE

– Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$68.11 \text{ kN} \leq 121.57 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{68.11} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{121.57} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{464.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (c) IPE 330'

– Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$11.05 \text{ kN} \leq 702.58 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{11.05} \text{ kN}$$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$

$$N_{Rd} : \underline{702.58} \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{3570} \text{ mm}^2$$

$$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$$

t : Espesor del elemento en la superficie de unión

$$t : \underline{7.5} \text{ mm}$$

t_p : Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

h_p : Altura del elemento de unión

$$h_p : \underline{230} \text{ mm}$$

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$4.96 \text{ kN} \leq 74.96 \text{ kN} \quad \checkmark$$

N_{Ed}: Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{4.96} \text{ kN}$$

N_{Rd}: Resistencia de cálculo del alma a flexión

$$N_{Rd} : \underline{74.96} \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2\mu + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{2 \cdot (1-\beta) \cdot \gamma_{M5}} + \frac{8 W_{pl} f_y}{(h_{Iw} - t_p) \gamma_{M5}}$$

Donde:

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.5} \text{ mm}$$

k_m: Coeficiente de interacción

$$k_m : \underline{1.00}$$

$$\mu = \frac{h_p}{h_{Iw}}$$

$$\mu : \underline{1.33}$$

h_p: Altura del elemento de unión

$$h_p : \underline{230} \text{ mm}$$

h_{Iw}: Canto del alma entre radios de acuerdo

$$h_{Iw} : \underline{172} \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{t_p}{h_{Iw}} \leq 0.2$$

$$\beta : \underline{0.05}$$

t_p: Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

W_{pl}: Modulo plástico resistente

$$W_{pl} : \underline{1617} \text{ mm}^3$$

$$W_{pl} = \frac{l_{ch} \cdot t_w^2}{4}$$

l_{ch}: Longitud de la línea de charnela

$$l_{ch} : \underline{115} \text{ mm}$$

$$l_{ch} = \frac{h_p}{2}$$

f_y: Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M5}: Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.

$$\gamma_{M5} : \underline{1.00}$$

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 330'

- Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$11.05 \text{ kN} \leq 702.58 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed}: Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{11.05} \text{ kN}$$

N_{Rd}: Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, V_{pl,Rd}

$$N_{Rd} : \underline{702.58} \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

A_v: Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{3570} \text{ mm}^2$$

$$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$$

t: Espesor del elemento en la superficie de unión

$$t : \underline{7.5} \text{ mm}$$

t_p: Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

h_p : Altura del elemento de unión	h_p : $\frac{230}{}$ mm
f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.	f_u : $\frac{410.00}{}$ N/mm ²
γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	γ_{M2} : $\frac{1.25}{}$

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad \mathbf{4.96 \text{ kN} \leq 74.96 \text{ kN} \checkmark}$$

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \frac{4.96}{}$$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión

$$N_{Rd} : \frac{74.96}{}$$

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2\mu + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{2 \cdot (1-\beta) \cdot \gamma_{M5}} + \frac{8 W_{pl} f_y}{(h_{lw} - t_p) \gamma_{M5}}$$

Donde:

t_w : Espesor del alma. t_w : $\frac{7.5}{}$ mm

k_m : Coeficiente de interacción k_m : $\frac{1.00}{}$

$$\mu = \frac{h_p}{h_{lw}} \quad \mu : \frac{1.33}{}$$

h_p : Altura del elemento de unión h_p : $\frac{230}{}$ mm

h_{lw} : Canto del alma entre radios de acuerdo h_{lw} : $\frac{172}{}$ mm

$$\beta = \frac{t_p}{h_{lw}} \leq 0.2 \quad \beta : \frac{0.05}{}$$

t_p : Espesor del elemento de unión t_p : $\frac{8.0}{}$ mm

W_{pl} : Modulo plástico resistente W_{pl} : $\frac{1617}{}$ mm³

$$W_{pl} = \frac{I_{ch} \cdot t_w^2}{4}$$

I_{ch} : Longitud de la línea de charnela I_{ch} : $\frac{115}{}$ mm

$$I_{ch} = \frac{h_p}{2}$$

f_y : Tensión de límite elástico. f_y : $\frac{275.00}{}$ N/mm²

γ_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular. γ_{M5} : $\frac{1.00}{}$

Producido por una versión educativa de CYPE

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si a > 120° ⇒ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si a < 60° ⇒ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya

longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	56.1	56.1	0.0	112.3	29.10	56.1	17.12	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	50.2	87.0	22.54	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	61.5	61.5	0.0	123.1	31.90	61.5	18.76	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	65.7	113.8	29.48	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	56.1	56.1	0.0	112.3	29.10	56.1	17.12	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	50.2	87.0	22.54	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	61.5	61.5	0.0	123.1	31.90	61.5	18.76	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	65.7	113.8	29.48	0.0	0.00	410.0	0.85

Producido por una versión educativa de CYPE

2) Viga (a) IPE 300

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

113.77 kN ≤ 157.08 kN ✓

Donde:

F_{T,Rd}: Fuerza de tracción solicitante

F_{T,Rd} : 113.77 kN

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

F_{T,Rd} : 157.08 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

F_{T,3,Rd} : 180.86 kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

F_{T,2,Rd} : 157.08 kN

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

F_{T,1,Rd} : 236.97 kN

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 3.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

F_{T,Rd} : 157.08 kN

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{1.91} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{2.05} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{12.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{32} \text{ mm}$$

n : Igual e_{nm} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{40} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{202} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma l_{eff,2} : \underline{217} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_r deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{er} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Producido por una versión educativa de CYPE

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$196.44 \text{ kN} \leq 442.65 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{196.44} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{442.65} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{1690} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

ρ : Factor de reducción

$$\rho : \underline{0.000}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

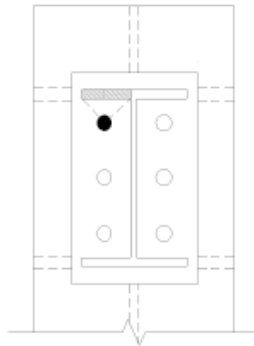
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	803	29.72	210.18	14.14
Σ		29.72	210.18	14.14



Producido por una versión educativa de CYPE

–Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$54.33 \text{ kN} \leq 157.81 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{54.33} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{157.81} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A: Área sometida a tracción

$$A : \underline{603.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120° . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	5	150	10.7	71.74
Soldadura del alma	En ángulo	4	262	7.1	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	5	150	10.7	71.74

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	70.9	98.0	0.4	183.9	47.67	74.0	22.57	410.0	0.85
Soldadura del alma	80.0	80.0	21.2	164.1	42.53	80.0	24.38	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	63.5	87.9	0.4	164.9	42.74	92.3	28.15	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

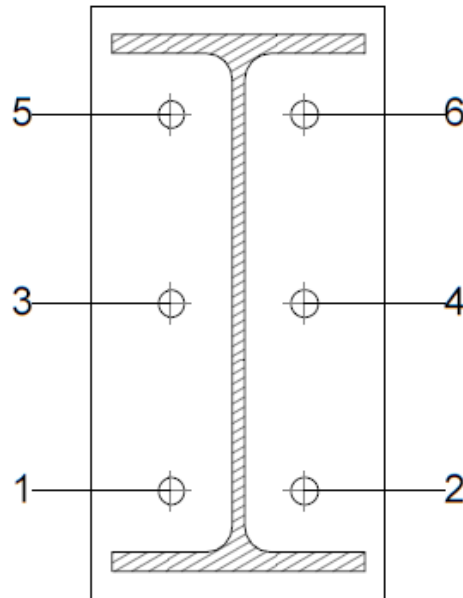
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



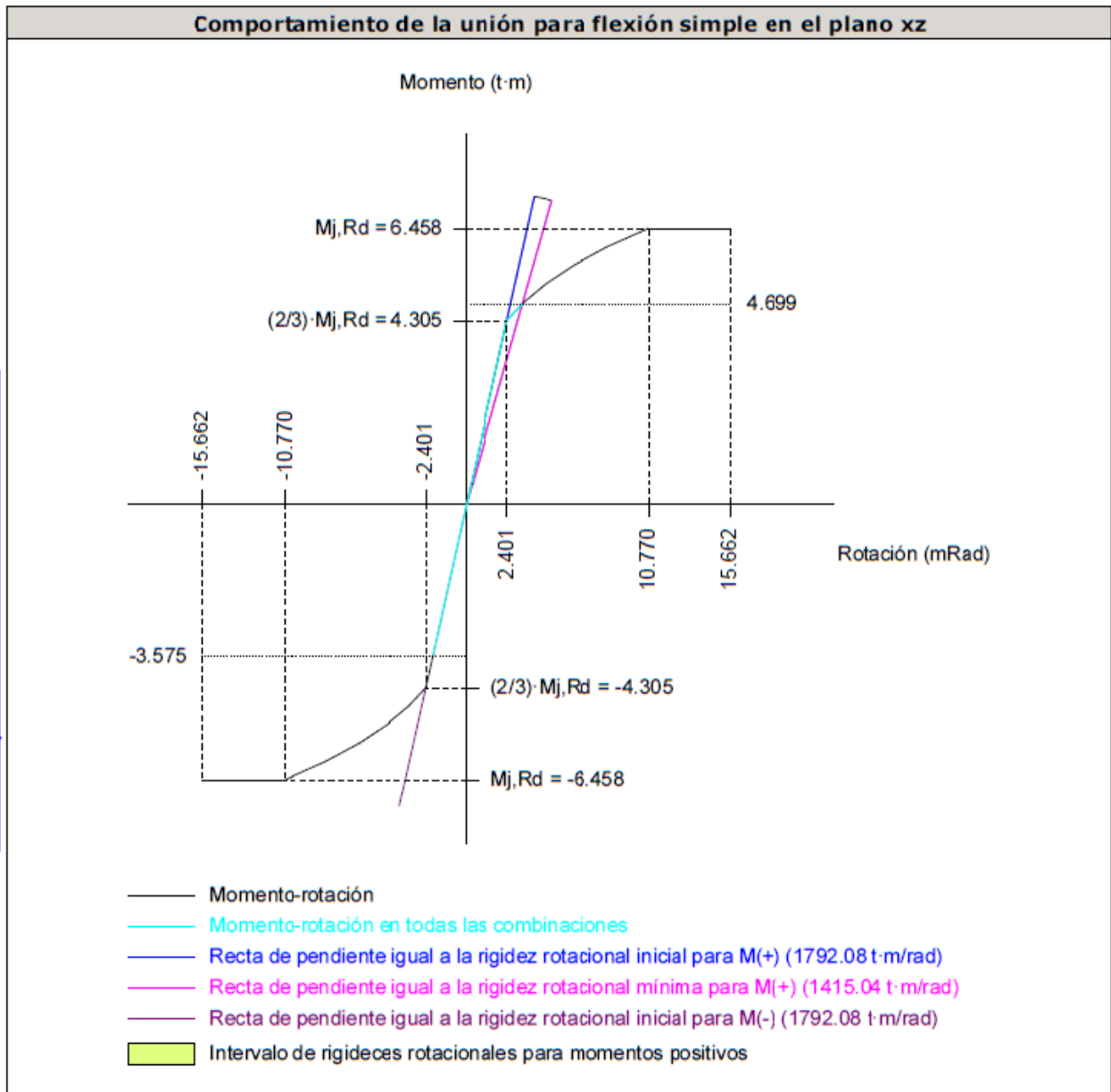
Producido por una versión educativa de CYPE

Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	48	111	80	35.8
2	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	48	111	80	35.8
3	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	48	111	80	36.0
4	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	48	111	80	36.0
5	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	48	111	80	35.8
6	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	48	111	80	35.8

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	11.675	50.240	23.24	Vástago	61.705	90.432	68.23	57.35	68.23
	Aplastamiento	11.675	157.440	7.42	Punzonamiento	61.705	188.262	32.78		
2	Sección transversal	11.675	50.240	23.24	Vástago	61.705	90.432	68.23	57.35	68.23
	Aplastamiento	11.675	157.440	7.42	Punzonamiento	61.705	188.262	32.78		
3	Sección transversal	7.405	50.240	14.74	Vástago	41.919	90.432	46.35	47.85	47.85
	Aplastamiento	7.405	157.440	4.70	Punzonamiento	41.919	188.262	22.27		
4	Sección transversal	7.405	50.240	14.74	Vástago	41.919	90.432	46.35	47.85	47.85
	Aplastamiento	7.405	157.440	4.70	Punzonamiento	41.919	188.262	22.27		
5	Sección transversal	7.405	50.240	14.74	Vástago	65.502	90.432	72.43	66.48	72.43
	Aplastamiento	7.405	157.440	4.70	Punzonamiento	65.502	188.262	34.79		
6	Sección transversal	7.405	50.240	14.74	Vástago	65.502	90.432	72.43	66.48	72.43
	Aplastamiento	7.405	157.440	4.70	Punzonamiento	65.502	188.262	34.79		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	924.50	1792.08
Calculada para momentos negativos	924.50	1792.08



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

1.31 ≤ 1.80 ✓

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

β : 1.31

Donde:

F_{T,Rd1}: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

F_{T,Rd1} : 236.97 kN

F_{T,Rd3}: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

F_{T,Rd3} : 180.86 kN

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$46.10 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 63.36 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{46.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{63.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} \cdot d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.21 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{3.32} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{15.66} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{263} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.31}$$

3) Viga (c) IPE 330

– Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 260.84 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \underline{260.84} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{1725} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 25.98 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$M_{c,Rd} : \underline{25.98} \text{ kN}\cdot\text{m}$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

$W_{pl} : \underline{99187.5} \text{ mm}^3$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$

siendo

$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$

0.10 kN ≤ 130.42 kN

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

8.16 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ : Tensión normal

$\sigma : \underline{8.09} \text{ N/mm}^2$

τ_{yz} : Tensión tangencial yz

$\tau_{yz} : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$

τ_{xz} : Tensión tangencial xz

$\tau_{xz} : \underline{-0.63} \text{ N/mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd}$

7.40 N/mm² ≤ 228.15 N/mm² ✓

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$\sigma_{c,Ed} : \underline{7.40} \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$\sigma_{b,Rd} : \underline{228.15} \text{ N/mm}^2$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

$$\chi : \underline{0.87}$$

f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$

$$f_{yd} : \underline{2.57} \text{ N/mm}^2$$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\phi : \underline{0.66}$$

α : Coeficiente de imperfección

$$\alpha : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{12 \cdot f_y}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.45}$$

Donde:

β : Coeficiente de pandeo

$$\beta : \underline{2.00}$$

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

$$L : \underline{45} \text{ mm}$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

E : Módulo de elasticidad

$$E : \underline{210000.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.06 \leq 1 \quad \checkmark$$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

d : Diámetro del tornillo.

$$d : \underline{16} \text{ mm}$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$$

d_0 : Diámetro del agujero.

$$d_0 : \underline{18} \text{ mm}$$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	5.24	87.47
z	0.50	27.0	--	-0.65	52.48

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
α : coeficiente igual al menor de los valores: $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_y}; 1,0$ e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.					

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

$$11.11 \text{ kN} \leq 212.90 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \frac{11.11}{1} \text{ kN}$$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \frac{212.90}{1} \text{ kN}$$

$$N_{ef,Rd} = \min \left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \frac{1408.00}{1} \text{ mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \frac{410.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \frac{1.25}{1}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{1}$$

-Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.08 \leq 1 \quad \checkmark$$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$$f_u : \frac{410.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \frac{7.5}{1} \text{ mm}$$

d : Diámetro del tornillo.

$$d : \frac{16}{1} \text{ mm}$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \frac{1.25}{1}$$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$$f_{ub} : \frac{800.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

d_0 : Diámetro del agujero.

$$d_0 : \frac{18}{1} \text{ mm}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,j}$ (kN)
y	0.65	35.0	--	5.24	63.78
z	1.00	279.1	88.0	-0.65	98.40

α : coeficiente igual al menor de los valores:
 $\frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0$
 e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.
 p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

11.11 kN ≤ 288.24 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{11.11} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{288.24} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{1906.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Producido por una versión educativa de CYPE

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.

- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	230	7.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	5.6	5.6	0.8	11.4	2.95	5.6	1.72	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

$$- \text{ Para } e_1 \text{ y } e_2 \begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u : resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α : es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d_0 : diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$ por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s : área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p : espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m : menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

siendo

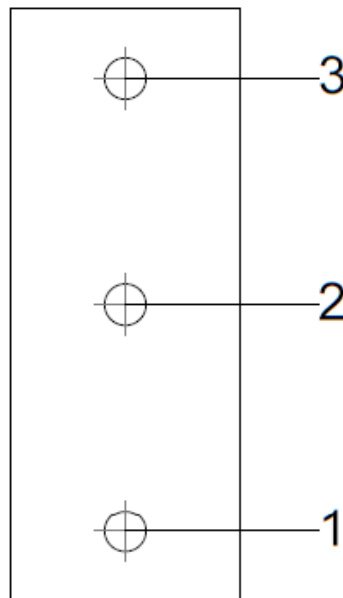
$F_{v,Ed}$: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.

Producido por una versión educativa de CYPE



Disposición							
Tomillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	88	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	88	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	88	--	27.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tomillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	5.283	50.240	10.52	Vástago	0.000	90.432	0.00	10.52	10.52
	Aplastamiento	5.283	86.310	6.12	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	3.702	50.240	7.37	Vástago	0.000	90.432	0.00	7.37	7.37
	Aplastamiento	3.702	87.612	4.23	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	2.368	50.240	4.71	Vástago	0.000	90.432	0.00	4.71	4.71
	Aplastamiento	2.368	88.494	2.68	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

4) Viga (b) IPE 330

- Chapa lateral

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 260.84 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \frac{0.10}{\text{ kN}}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \frac{260.84}{\text{ kN}}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \frac{1725}{\text{ mm}^2}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \frac{261.90}{\text{ N/mm}^2}$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 25.98 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \frac{0.01}{\text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$$M_{c,Rd} : \frac{25.98}{\text{ kN}\cdot\text{m}}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

$$W_{pl} : \frac{99187.5}{\text{ mm}^3}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \frac{261.90}{\text{ N/mm}^2}$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de

cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$$

siendo

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 130.42 \text{ kN}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$8.16 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \frac{8.09}{\text{N/mm}^2}$$

τ_{yz} : Tensión tangencial yz

$$\tau_{yz} : \frac{0.00}{\text{N/mm}^2}$$

τ_{xz} : Tensión tangencial xz

$$\tau_{xz} : \frac{-0.63}{\text{N/mm}^2}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{\text{N/mm}^2}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{\text{N/mm}^2}$$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd}$$

$$7.40 \text{ N/mm}^2 \leq 228.15 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$$\sigma_{c,Ed} : \frac{7.40}{\text{N/mm}^2}$$

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$$\sigma_{b,Rd} : \frac{228.15}{\text{N/mm}^2}$$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

$$\chi : \frac{0.87}{\text{N/mm}^2}$$

f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$

$$f_{yd} : \frac{2.57}{\text{N/mm}^2}$$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

α : Coeficiente de imperfección

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{12 \cdot f_y}}}$$

Donde:

β : Coeficiente de pandeo

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

t : Espesor de la chapa

E : Módulo de elasticidad

ϕ : 0.66

α : 0.49

$\bar{\lambda}$: 0.45

β : 2.00

L : 45 mm

t : 8.0 mm

E : 210000.00 N/mm²

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

0.06 ≤ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,l} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

t : Espesor de la chapa

d : Diámetro del tornillo.

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

d_0 : Diámetro del agujero.

f_u : 410.00 N/mm²

t : 8.0 mm

d : 16 mm

γ_{M2} : 1.25

f_{ub} : 800.00 N/mm²

d_0 : 18 mm

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,l}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	5.24	87.47
z	0.50	27.0	--	-0.65	52.48

α : coeficiente igual al menor de los valores:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0$$

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

11.11 kN ≤ 212.90 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

N_{Ed} : 11.11 kN

Producido por una versión educativa de CYPE

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{212.90} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{1408.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

- Alma

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$0.08 \leq 1 \checkmark$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,l} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

t : Espesor de la chapa

$t : \underline{7.5} \text{ mm}$

d : Diámetro del tornillo.

$d : \underline{16} \text{ mm}$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$

d_0 : Diámetro del agujero.

$d_0 : \underline{18} \text{ mm}$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,l}$ (kN)
y	0.65	35.0	--	5.24	63.78
z	1.00	279.1	88.0	-0.65	98.40

α : coeficiente igual al menor de los valores:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

$11.11 \text{ kN} \leq 288.24 \text{ kN} \checkmark$

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \frac{11.11}{kN}$$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \frac{288.24}{kN}$$

$$N_{ef,Rd} = \min \left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \frac{1906.00}{mm^2}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{N/mm^2}$$

f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \frac{410.00}{N/mm^2}$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \frac{1.25}{}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{}$$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	230	7.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w	
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)			Aprov. (%)
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	5.6	5.6	0.8	11.4	2.95	5.6	1.72	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2

$$\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_c o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

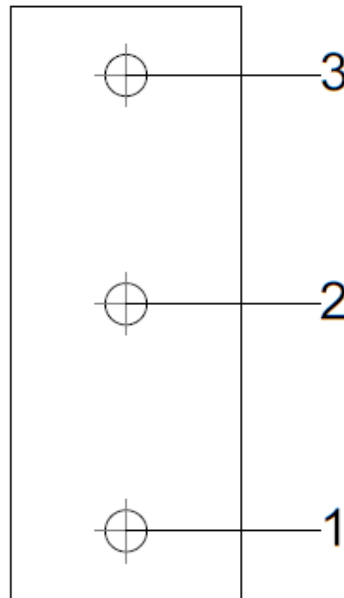
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

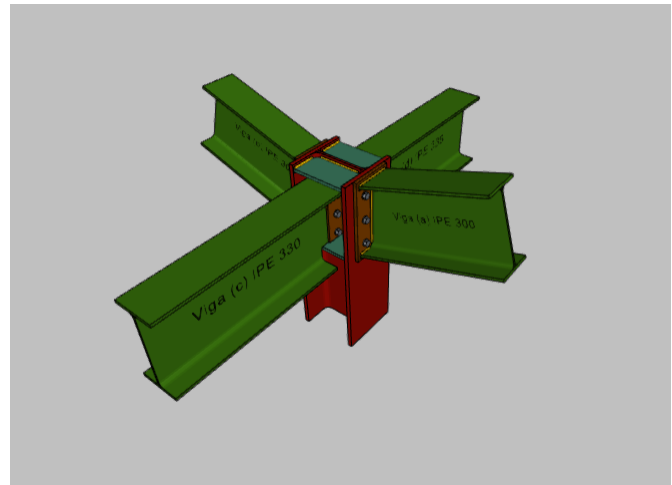
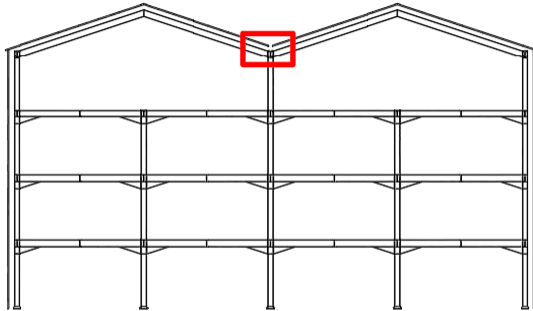
Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	88	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	88	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	88	--	27.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	5.283	50.240	10.52	Vástago	0.000	90.432	0.00	10.52	10.52
	Aplastamiento	5.283	86.310	6.12	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	3.702	50.240	7.37	Vástago	0.000	90.432	0.00	7.37	7.37
	Aplastamiento	3.702	87.612	4.23	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	2.368	50.240	4.71	Vástago	0.000	90.432	0.00	4.71	4.71
	Aplastamiento	2.368	88.494	2.68	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

Zutabe Zentrala eta Teilatuko habeen arteko lotura

Zutabe Zentrala portikoaren teilatuko IPE 300 Habeen muturreko plakak jasotzen ditu hegaletan eta M16-ko torlojuen bidez finkatu egiten dira. Zutabearen ariman bi habetxo finkatzen dira tailerlean aurretik soldatutako belarrietan, berriz ere M16-ko torloju bidez. Gainera lotura honek tailerlean soldatutako bi zurruntzaile daramatza.



3.52 Irudia – Zutabe Zentralaren eta Teilatuko habearen arteko lotura

Comprobaciones

1) Pilar HE 260 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 70\varepsilon$$

$$22.50 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \underline{225} \text{ mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \underline{10.0} \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$

$$75.79 \text{ kN} \leq 430.92 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \underline{75.79} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \underline{430.92} \text{ kN}$$

Donde:

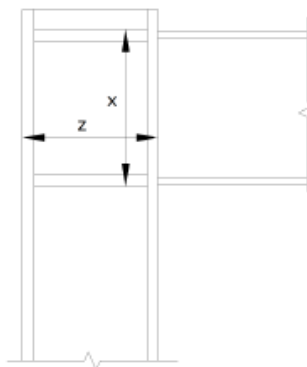
$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2600	60.33	353.83	17.05
x	3166	75.79	430.92	17.59



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$52.56 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{52.56} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{40.05} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{64} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$59.60 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-59.60} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-54.36} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{76} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$52.56 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{52.56} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{40.05} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{64} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$59.60 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-59.60} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-54.36} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{76} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

- Comprobaciones por unión con elemento "

- Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \mathbf{19.56 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \checkmark}$$

Donde:

σ: Tensión normal	σ : <u>19.56</u> N/mm ²
τ: Tensión tangencial	τ : <u>0.01</u> N/mm ²
f _y : Tensión de límite elástico.	f _y : <u>275.00</u> N/mm ²
γ _{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ _{M0} : <u>1.05</u>

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 300'

- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd} \quad \mathbf{107.86 \text{ kN} \leq 180.86 \text{ kN} \checkmark}$$

Donde:

F _{T,Rd} : Fuerza de tracción solicitante	F _{T,Rd} : <u>107.86</u> kN
F _{T,Rd} : Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente	F _{T,Rd} : <u>180.86</u> kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} \quad \mathbf{F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-arma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad \mathbf{F_{T,2,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-arma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad \mathbf{F_{T,1,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad \mathbf{F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}}$$

Donde:

M _{pl,1,Rd} = 0.25 ∑ I _{eff,1} · t _f ² · f _y / γ _{M0}	M _{pl,1,Rd} : <u>2.49</u> kN·m
∑ F _{t,Rd} : Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos	∑ F _{t,Rd} : <u>180.86</u> kN
t _f : Espesor de la chapa	t _f : <u>17.5</u> mm
m: Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela	m : <u>20</u> mm
∑ I _{eff,1} : Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*	∑ I _{eff,1} : <u>124</u> mm

Producido por una versión educativa de CYPE

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual ΣL_{ef} deberá tomarse igual a la longitud eficaz L_{ef} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

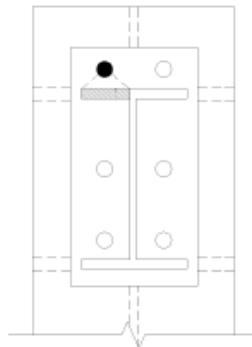
f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	1226	20.00	321.11	6.23
Inferior	--	--	--	--
Σ		20.00	321.11	6.23



Producido por una versión educativa de CYPE

- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$

67.86 kN ≤ 177.78 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{Ed} : \underline{67.86} \text{ kN}$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{177.78} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A: Área sometida a tracción

$$A : \underline{679.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 300'

– Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$107.86 \text{ kN} \leq 180.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{107.86} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-ala, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-ala y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{17.5} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{20} \text{ mm}$$

$\sum I_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\sum I_{eff,1} : \underline{124} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: En el caso de una fila de tornillos individual Σl_w deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_w para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

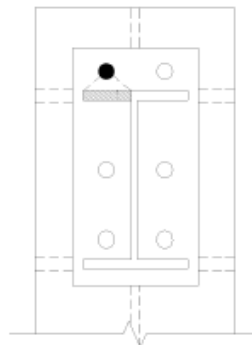
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	1226	20.00	321.11	6.23
Inferior	--	--	--	--
Σ		20.00	321.11	6.23



Producido por una versión educativa de CYPE

– Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$67.86 \text{ kN} \leq 177.78 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{67.86} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{177.78} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{679.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.	$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$
$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$	
f_y : Tensión de límite elástico.	$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (c) IPE 330'

– Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad \mathbf{27.80 \text{ kN} \leq 917.09 \text{ kN} \checkmark}$$

Donde:

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo $N_{Ed} : \underline{27.80} \text{ kN}$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$ $N_{Rd} : \underline{917.09} \text{ kN}$

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

A_v : Área sometida a cortante $A_v : \underline{4660} \text{ mm}^2$

$$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$$

t : Espesor del elemento en la superficie de unión $t : \underline{10.0} \text{ mm}$

t_p : Espesor del elemento de unión $t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$

h_p : Altura del elemento de unión $h_p : \underline{225} \text{ mm}$

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión. $f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión. $\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad \mathbf{18.80 \text{ kN} \leq 125.51 \text{ kN} \checkmark}$$

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo $N_{Ed} : \underline{18.80} \text{ kN}$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión $N_{Rd} : \underline{125.51} \text{ kN}$

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2t + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{2 \cdot (1-\beta) \cdot \gamma_{M5}} + \frac{8 W_{pl} f_y}{(h_w - t_p) \gamma_{M5}}$$

Donde:

t_w : Espesor del alma. $t_w : \underline{10.0} \text{ mm}$

k_m : Coeficiente de interacción $k_m : \underline{1.00}$

$$\mu = \frac{h_p}{h_{tw}} \quad \mu : \underline{1.21}$$

h_p : Altura del elemento de unión $h_p : \underline{225} \text{ mm}$

h_{tw} : Canto del alma entre radios de acuerdo $h_{tw} : \underline{187} \text{ mm}$

$$\beta = \frac{t_p}{h_{lw}} \leq 0.2$$

$$\beta : \underline{0.04}$$

t_p : Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

W_{pl} : Modulo plástico resistente

$$W_{pl} : \underline{2813} \text{ mm}^3$$

$$W_{pl} = \frac{l_{ch} \cdot t_w^2}{4}$$

l_{ch} : Longitud de la línea de charnela

$$l_{ch} : \underline{113} \text{ mm}$$

$$l_{ch} = \frac{h_p}{2}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.

$$\gamma_{M5} : \underline{1.00}$$

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (d) IPE 330'

- Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$27.80 \text{ kN} \leq 917.09 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{27.80} \text{ kN}$$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$

$$N_{Rd} : \underline{917.09} \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{4660} \text{ mm}^2$$

$$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$$

t : Espesor del elemento en la superficie de unión

$$t : \underline{10.0} \text{ mm}$$

t_p : Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

h_p : Altura del elemento de unión

$$h_p : \underline{225} \text{ mm}$$

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$18.80 \text{ kN} \leq 125.51 \text{ kN} \quad \checkmark$$

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{18.80} \text{ kN}$$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión

$$N_{Rd} : \underline{125.51} \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2\mu + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{2 \cdot (1-\beta) \cdot \gamma_{M5}} + \frac{8 W_{pl} f_y}{(h_{lw} - t_p) \gamma_{M5}}$$

Donde:

t_w : Espesor del alma. $t_w : \frac{10.0}{\quad}$ mm

k_m : Coeficiente de interacción $k_m : \frac{1.00}{\quad}$

$\mu = \frac{h_p}{h_{tw}}$ $\mu : \frac{1.21}{\quad}$

h_p : Altura del elemento de unión $h_p : \frac{225}{\quad}$ mm

h_{tw} : Canto del alma entre radios de acuerdo $h_{tw} : \frac{187}{\quad}$ mm

$\beta = \frac{t_p}{h_{tw}} \leq 0.2$ $\beta : \frac{0.04}{\quad}$

t_p : Espesor del elemento de unión $t_p : \frac{8.0}{\quad}$ mm

W_{pl} : Modulo plástico resistente $W_{pl} : \frac{2813}{\quad}$ mm³

$$W_{pl} = \frac{l_{ch} \cdot t_w^2}{4}$$

l_{ch} : Longitud de la línea de charnela $l_{ch} : \frac{113}{\quad}$ mm

$$l_{ch} = \frac{h_p}{2}$$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \frac{275.00}{\quad}$ N/mm²

γ_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular. $\gamma_{M5} : \frac{1.00}{\quad}$

Producido por una versión educativa de CYPE

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	5	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	5	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	44.6	44.6	0.0	89.2	23.12	44.6	13.60	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	15.1	26.2	6.78	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	50.6	50.6	0.0	101.2	26.21	50.6	15.42	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	18.3	31.8	8.23	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	44.6	44.6	0.0	89.2	23.12	44.6	13.60	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	15.1	26.2	6.78	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	50.6	50.6	0.0	101.2	26.21	50.6	15.42	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	18.3	31.8	8.23	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga (a) IPE 300

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

107.86 kN ≤ 169.79 kN ✓

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$F_{T,Ed} : \underline{107.86} \text{ kN}$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$F_{T,Rd} : \underline{169.79} \text{ kN}$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$

$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-ala, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$

$F_{T,2,Rd} : \underline{169.79} \text{ kN}$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-ala y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$

$F_{T,1,Rd} : \underline{313.13} \text{ kN}$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$

$F_{T,Rd} : \underline{169.79} \text{ kN}$

Donde:

$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$

$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.85} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$

$M_{pl,2,Rd} : \underline{2.85} \text{ kN}\cdot\text{m}$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$\sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$

t_f : Espesor de la chapa

$t_f : \underline{14.0} \text{ mm}$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$m : \underline{36} \text{ mm}$

n : Igual e_{mn} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$n : \underline{44} \text{ mm}$

$\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$\sum l_{eff,1} : \underline{222} \text{ mm}$

$\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$\sum l_{eff,2} : \underline{222} \text{ mm}$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_{eff}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{ef} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$

$176.67 \text{ kN} \leq 442.65 \text{ kN} \checkmark$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{Ed} : \underline{176.67} \text{ kN}$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$N_{c,Rd} : \underline{442.65} \text{ kN}$

$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y'}{\gamma_{M0}}$

Donde:

A: Área sometida a compresión

A : 1690 mm²

f'_y: Tensión de límite elástico reducida.

f'_y : 275.00 N/mm²

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

ρ: Factor de reducción

ρ : 0.000

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección V_{pl,Rd}, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil.

N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo.

f_{yd} : 261.90 N/mm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y: Tensión de límite elástico.

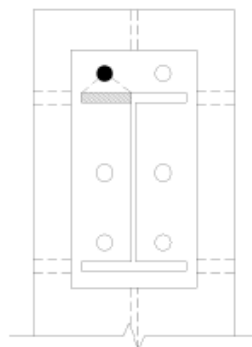
f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Producido por una versión educativa de CYPE

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	803	27.75	210.18	13.20
Inferior	--	--	--	--
Σ		27.75	210.18	13.20



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$52.36 \text{ kN} \leq 162.41 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{52.36} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{162.41} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{620.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Cordones de soldadura**Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).**

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120° . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{||}$: tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{||}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	5	150	10.7	71.74
Soldadura del alma	En ángulo	4	262	7.1	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	5	150	10.7	71.74

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	61.4	84.9	0.4	159.4	41.31	64.3	19.61	410.0	0.85
Soldadura del alma	73.4	73.4	16.0	149.4	38.72	73.4	22.38	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	92.9	67.2	0.0	148.9	38.58	92.9	28.32	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarrar del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_r, según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción F_{t,Rd}, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, F_{p,Rd}, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

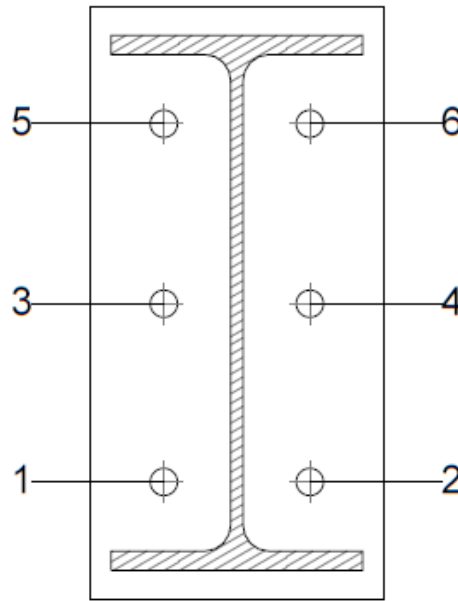
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axil de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{URd} : resistencia de cálculo en tracción.



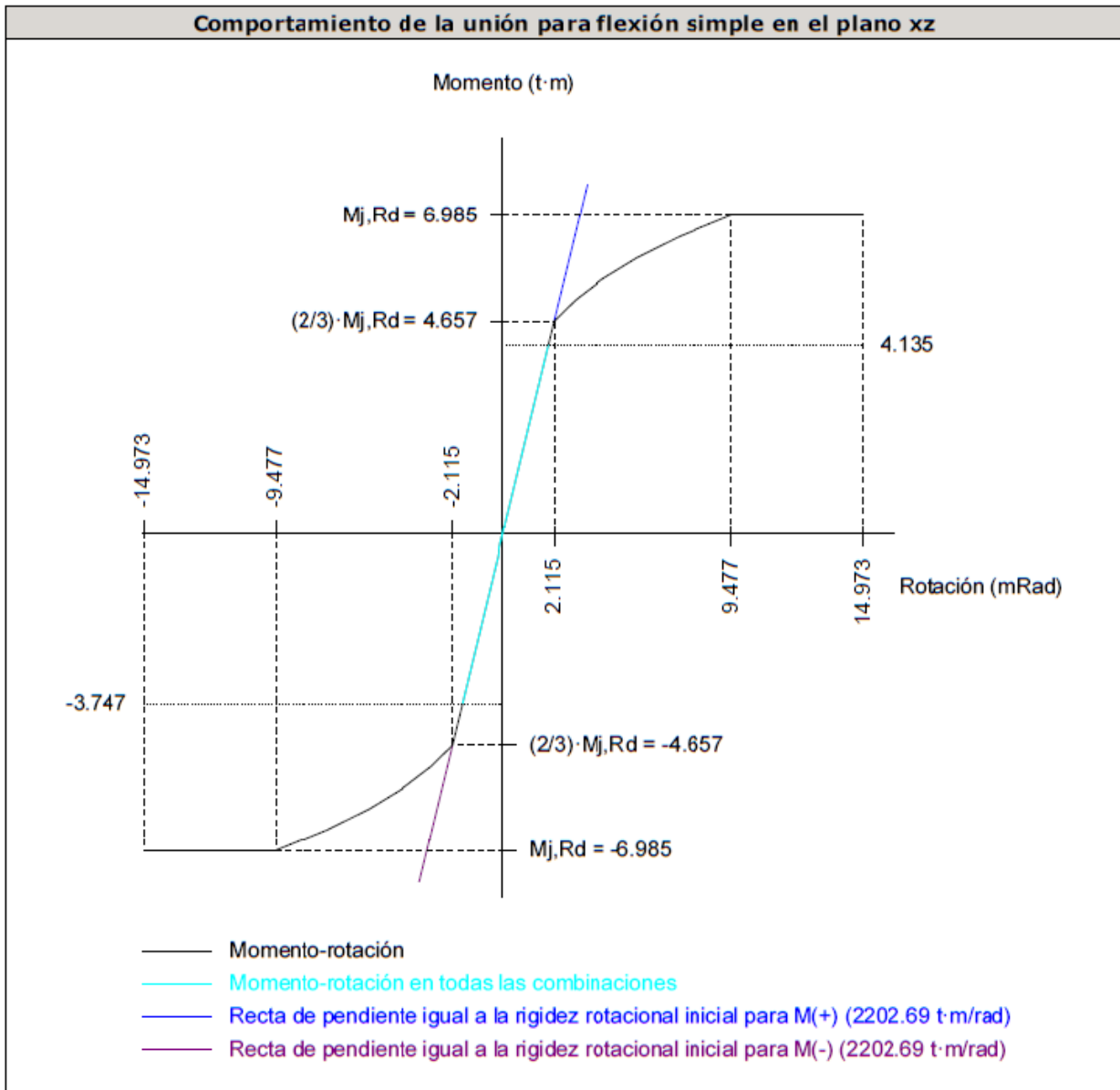
Producido por una versión educativa de CYPE

Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	9.363	64.340	14.55	Vástago	57.449	90.432	63.53	54.07	63.53
	Aplastamiento	9.363	183.680	5.10	Punzonamiento	57.449	219.639	26.16		
2	Sección transversal	9.363	64.340	14.55	Vástago	57.449	90.432	63.53	54.07	63.53
	Aplastamiento	9.363	183.680	5.10	Punzonamiento	57.449	219.639	26.16		
3	Sección transversal	7.703	64.340	11.97	Vástago	40.407	90.432	44.68	40.61	44.68
	Aplastamiento	7.703	183.680	4.19	Punzonamiento	40.407	219.639	18.40		
4	Sección transversal	7.703	64.340	11.97	Vástago	40.407	90.432	44.68	40.61	44.68
	Aplastamiento	7.703	183.680	4.19	Punzonamiento	40.407	219.639	18.40		
5	Sección transversal	7.703	64.340	11.97	Vástago	52.520	90.432	58.08	53.45	58.08
	Aplastamiento	7.703	183.680	4.19	Punzonamiento	52.520	219.639	23.91		
6	Sección transversal	7.703	64.340	11.97	Vástago	52.520	90.432	58.08	53.45	58.08
	Aplastamiento	7.703	183.680	4.19	Punzonamiento	52.520	219.639	23.91		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	538.48	2202.69
Calculada para momentos negativos	538.48	2202.69



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.39 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.39}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$40.56 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 68.52 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{40.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{68.52} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} \cdot d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.13 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{1.88} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{14.97} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{258} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.39}$$

3) Viga (b) IPE 300

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$107.86 \text{ kN} \leq 169.79 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{107.86} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{169.79} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-ala, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{169.79} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-ala y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{313.13} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{169.79} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.85} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{2.85} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{14.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{36} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{44} \text{ mm}$$

$\Sigma I_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma I_{eff,1} : \underline{222} \text{ mm}$$

$\Sigma I_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma I_{eff,2} : \underline{222} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_r deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_r para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

-Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$176.67 \text{ kN} \leq 442.65 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{176.67} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{442.65} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{1690} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

ρ : Factor de reducción

$$\rho : \underline{0.000}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$ no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

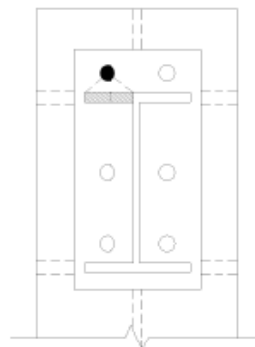
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	803	27.75	210.18	13.20
Inferior	--	--	--	--
Σ		27.75	210.18	13.20



Producido por una versión educativa de CYPE

- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$52.36 \text{ kN} \leq 162.41 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{52.36} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{162.41} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{620.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{Mo}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{Mo} : 1.05$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	5	150	10.7	71.74
Soldadura del alma	En ángulo	4	262	7.1	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	5	150	10.7	71.74
a: Espesor garganta l: Longitud efectiva t: Espesor de piezas					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_*
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	61.4	84.9	0.4	159.4	41.31	64.3	19.61	410.0	0.85
Soldadura del alma	73.4	73.4	16.0	149.4	38.72	73.4	22.38	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	92.9	67.2	0.0	148.9	38.58	92.9	28.32	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u : resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α : es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d_0 : diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s : área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p : espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m : menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

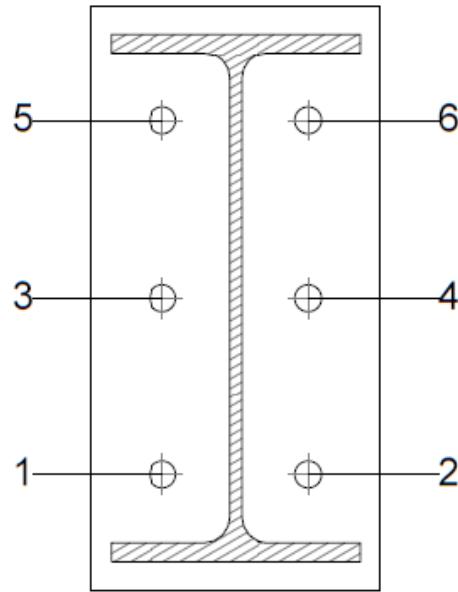
siendo

$F_{v,Ed}$: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.



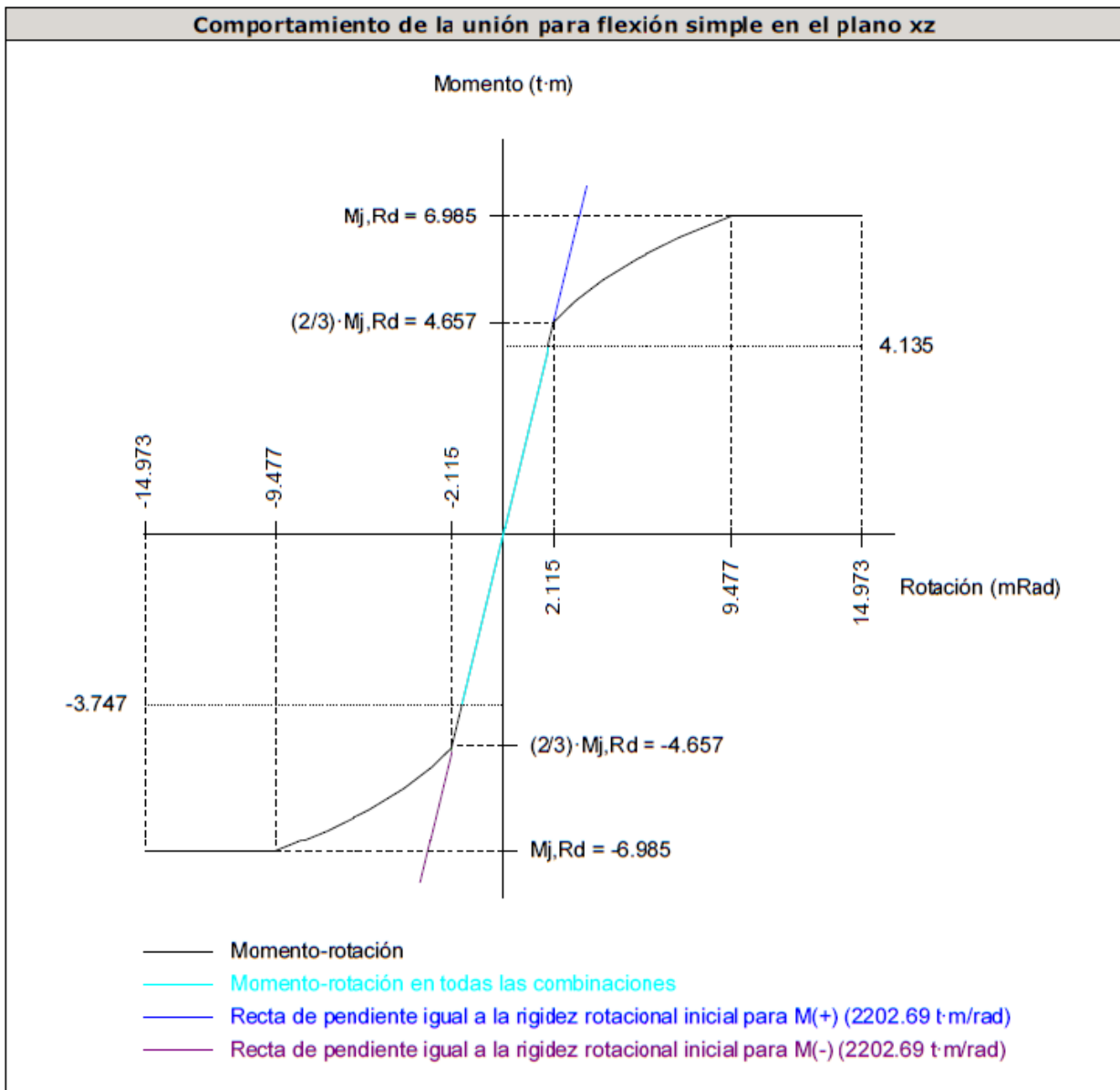
Producido por una versión educativa de CYPE

Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	44	106	88	39.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)		
1	Sección transversal	9.363	64.340	14.55	Vástago	57.449	90.432	63.53	54.07	63.53
	Aplastamiento	9.363	183.680	5.10	Punzonamiento	57.449	219.639	26.16		
2	Sección transversal	9.363	64.340	14.55	Vástago	57.449	90.432	63.53	54.07	63.53
	Aplastamiento	9.363	183.680	5.10	Punzonamiento	57.449	219.639	26.16		
3	Sección transversal	7.703	64.340	11.97	Vástago	40.407	90.432	44.68	40.61	44.68
	Aplastamiento	7.703	183.680	4.19	Punzonamiento	40.407	219.639	18.40		
4	Sección transversal	7.703	64.340	11.97	Vástago	40.407	90.432	44.68	40.61	44.68
	Aplastamiento	7.703	183.680	4.19	Punzonamiento	40.407	219.639	18.40		
5	Sección transversal	7.703	64.340	11.97	Vástago	52.520	90.432	58.08	53.45	58.08
	Aplastamiento	7.703	183.680	4.19	Punzonamiento	52.520	219.639	23.91		
6	Sección transversal	7.703	64.340	11.97	Vástago	52.520	90.432	58.08	53.45	58.08
	Aplastamiento	7.703	183.680	4.19	Punzonamiento	52.520	219.639	23.91		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	538.48	2202.69
Calculada para momentos negativos	538.48	2202.69



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.39 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.39}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$40.56 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 68.52 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{40.56} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{68.52} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} \cdot d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.13 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{1.88} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{14.97} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{258} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.39}$$

4) Viga (c) IPE 330

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 255.17 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \underline{255.17} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{1688} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 24.86 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$$M_{c,Rd} : \underline{24.86} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$W_{pl} : \underline{94921.9} \text{ mm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$$

siendo

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$\mathbf{0.10 \text{ kN} \leq 127.58 \text{ kN}}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\mathbf{25.40 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark}$$

Donde:

σ : Tensión normal

τ_{yz} : Tensión tangencial yz

τ_{xz} : Tensión tangencial xz

f_y : Tensión de límite elástico.

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\sigma : \underline{-25.33} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{yz} : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{xz} : \underline{-1.08} \text{ N/mm}^2$$

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd}$$

$$\mathbf{25.33 \text{ N/mm}^2 \leq 228.15 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark}$$

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$$\sigma_{c,Ed} : \underline{25.33} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{b,Rd} : \underline{228.15} \text{ N/mm}^2$$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

$\chi : \underline{0.87}$

f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$

$f_{yd} : \underline{2.57} \text{ N/mm}^2$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$\phi : \underline{0.66}$

α : Coeficiente de imperfección

$\alpha : \underline{0.49}$

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{12 \cdot f_y}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{0.45}$

Donde:

β : Coeficiente de pandeo

$\beta : \underline{2.00}$

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

$L : \underline{45} \text{ mm}$

t : Espesor de la chapa

$t : \underline{8.0} \text{ mm}$

E : Módulo de elasticidad

$E : \underline{210000.00} \text{ N/mm}^2$

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$0.14 \leq 1 \checkmark$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,l} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

t : Espesor de la chapa

$t : \underline{8.0} \text{ mm}$

d : Diámetro del tornillo.

$d : \underline{16} \text{ mm}$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$

d_0 : Diámetro del agujero.

$d_0 : \underline{18} \text{ mm}$

Dirección	α	e_1 (mm)	ρ_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,l}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	-12.35	87.47
z	0.50	27.0	--	-0.39	52.48

Producido por una versión educativa de CYPE

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,j}$ (kN)
α : coeficiente igual al menor de los valores: $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0$ e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.					

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

27.86 kN ≤ 206.86 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{27.86} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{206.86} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{1368.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Producido por una versión educativa de CYPE

-Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

0.15 ≤ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

t : Espesor de la chapa

$t : \underline{7.5} \text{ mm}$

d : Diámetro del tornillo.

$d : \underline{16} \text{ mm}$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$

d_0 : Diámetro del agujero.

$d_0 : \underline{18} \text{ mm}$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.65	35.0	--	9.52	63.78
z	1.00	273.8	85.5	-0.65	98.40

α : coeficiente igual al menor de los valores:
 $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0$
 e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.
 p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

27.86 kN ≤ 281.43 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \frac{27.86}{1} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \frac{281.43}{1} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min \left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \frac{1861.00}{1} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \frac{275.00}{1} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \frac{410.00}{1} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \frac{1.25}{1}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{1}$

Producido por una versión educativa de CYPE

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	225	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	13.3	13.3	0.5	26.5	6.87	13.3	4.04	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

- 2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

- a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

- b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u dt}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

- 3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

- a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

- b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

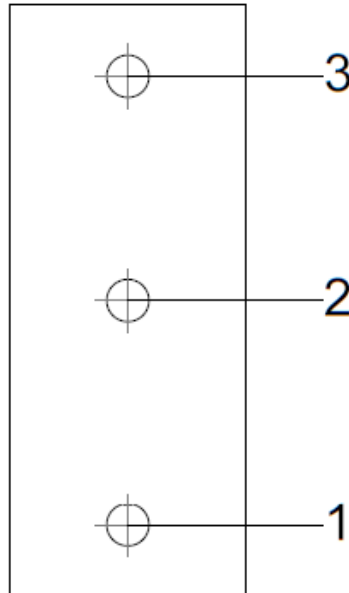
siendo

$F_{v,Ed}$: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerzo axil de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	86	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	86	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	86	--	27.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	12.357	50.240	24.60	Vástago	0.000	90.432	0.00	24.60	24.60
	Aplastamiento	12.357	87.391	14.14	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	9.288	50.240	18.49	Vástago	0.000	90.432	0.00	18.49	18.49
	Aplastamiento	9.288	87.532	10.61	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	6.423	50.240	12.79	Vástago	0.000	90.432	0.00	12.79	12.79
	Aplastamiento	6.423	87.604	7.33	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

5) Viga (d) IPE 330

– Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 255.17 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \frac{0.10}{\quad} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \frac{255.17}{\quad} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \frac{1688}{\quad} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \frac{261.90}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 24.86 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \frac{0.01}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$$M_{c,Rd} : \frac{24.86}{\quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

$$W_{pl} : \frac{94921.9}{\quad} \text{ mm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \frac{261.90}{\quad} \text{ N/mm}^2$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$$

siendo

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 127.58 \text{ kN}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \mathbf{25.40 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark}$$

Donde:

σ : Tensión normal	σ :	<u>-25.33</u> N/mm ²
τ_{yz} : Tensión tangencial yz	τ_{yz} :	<u>0.00</u> N/mm ²
τ_{xz} : Tensión tangencial xz	τ_{xz} :	<u>-1.08</u> N/mm ²
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y :	<u>275.00</u> N/mm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{M0} :	<u>1.05</u>

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd} \quad \mathbf{25.33 \text{ N/mm}^2 \leq 228.15 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark}$$

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.	$\sigma_{c,Ed}$:	<u>25.33</u> N/mm ²
$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.	$\sigma_{b,Rd}$:	<u>228.15</u> N/mm ²

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado	χ :	<u>0.87</u>
f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$	f_{yd} :	<u>2.57</u> N/mm ²

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \quad \phi : \quad \underline{0.66}$$

$$\alpha : \text{Coeficiente de imperfección} \quad \alpha : \quad \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{12 \cdot f_y}} \quad \bar{\lambda} : \quad \underline{0.45}$$

Donde:

β : Coeficiente de pandeo	β :	<u>2.00</u>
L : Longitud hasta la primera columna de tornillos	L :	<u>45</u> mm
t : Espesor de la chapa	t :	<u>8.0</u> mm
E : Módulo de elasticidad	E :	<u>210000.00</u> N/mm ²

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

0.14 ≤ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u: resistencia a tracción del material de la pieza

f_u : 410.00 N/mm²

t: Espesor de la chapa

t : 8.0 mm

d: Diámetro del tornillo.

d : 16 mm

γ_{M2}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

γ_{M2} : 1.25

f_{ub}: Tensión última a tracción del tornillo.

f_{ub} : 800.00 N/mm²

d₀: Diámetro del agujero.

d₀ : 18 mm

Dirección	α	e ₁ (mm)	p ₁ (mm)	F _{v,Ed} (kN)	F _{b,Rd,i} (kN)
y	0.83	45.0	--	-12.35	87.47
z	0.50	27.0	--	-0.39	52.48

α: coeficiente igual al menor de los valores:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0$$

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

27.86 kN ≤ 206.86 kN ✓

Donde:

N_{Ed}: es el esfuerzo de cálculo

N_{Ed} : 27.86 kN

N_{ef,Rd}: es la resistencia al desgarro

N_{ef,Rd} : 206.86 kN

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n: Área neta de la zona sometida a desgarro

A_n : 1368.00 mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

f_u: Tensión de rotura.

f_u : 410.00 N/mm²

γ_{M2}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

γ_{M2} : 1.25

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Producido por una versión educativa de CYPE

- Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

0.15 ≤ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u: resistencia a tracción del material de la pieza

f_u : $\frac{410.00}{\text{N/mm}^2}$

t: Espesor de la chapa

t : $\frac{7.5}{\text{mm}}$

d: Diámetro del tornillo.

d : $\frac{16}{\text{mm}}$

γ_{M2}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

γ_{M2} : $\frac{1.25}{\text{mm}}$

f_{ub}: Tensión última a tracción del tornillo.

f_{ub} : $\frac{800.00}{\text{N/mm}^2}$

d₀: Diámetro del agujero.

d₀ : $\frac{18}{\text{mm}}$

Dirección	α	e ₁ (mm)	p ₁ (mm)	F _{v,Ed} (kN)	F _{b,Rd,i} (kN)
y	0.65	35.0	--	9.52	63.78
z	1.00	273.8	85.5	-0.65	98.40

α: coeficiente igual al menor de los valores:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0$$

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

27.86 kN ≤ 281.43 kN ✓

Donde:

N_{Ed}: es el esfuerzo de cálculo

N_{Ed} : $\frac{27.86}{\text{kN}}$

N_{ef,Rd}: es la resistencia al desgarro

N_{ef,Rd} : $\frac{281.43}{\text{kN}}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n: Área neta de la zona sometida a desgarro

A_n : $\frac{1861.00}{\text{mm}^2}$

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : $\frac{275.00}{\text{N/mm}^2}$

f_u: Tensión de rotura.

f_u : $\frac{410.00}{\text{N/mm}^2}$

γ_{M2}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

γ_{M2} : $\frac{1.25}{\text{mm}}$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : $\frac{1.05}{\text{mm}}$

Producido por una versión educativa de CYPE

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	225	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	13.3	13.3	0.5	26.5	6.87	13.3	4.04	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_t , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u : resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α : es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d_0 : diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s : área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p : espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m : menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

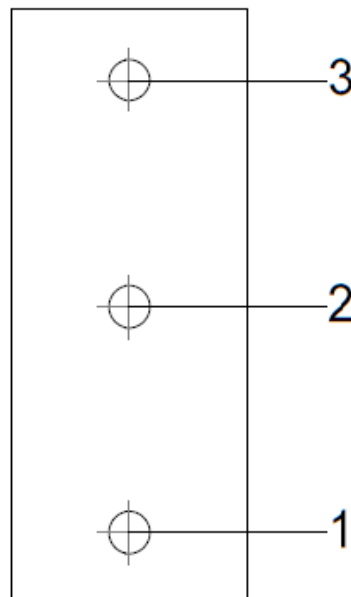
siendo

$F_{v,Ed}$: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.



Disposición							
Tomillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	86	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	86	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	86	--	27.0

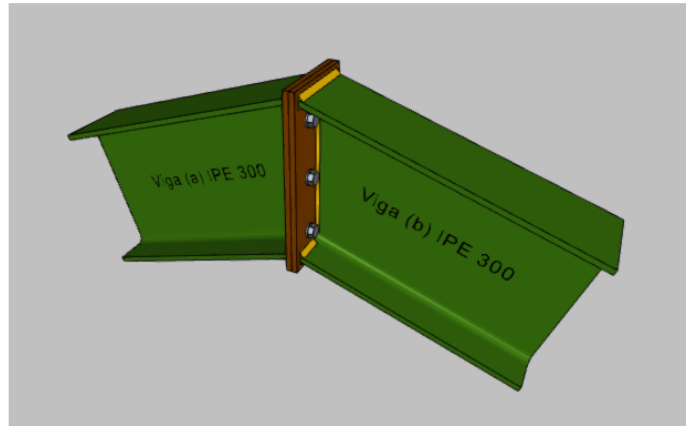
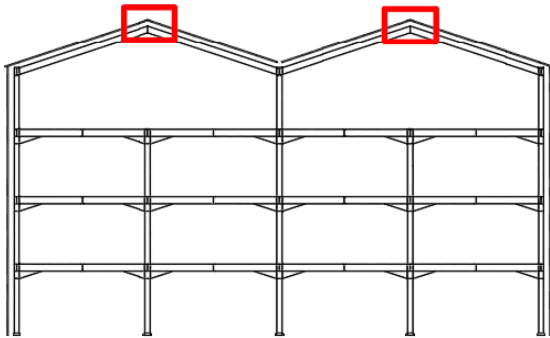
--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tomillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	12.357	50.240	24.60	Vástago	0.000	90.432	0.00	24.60	24.60
	Aplastamiento	12.357	87.391	14.14	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	9.288	50.240	18.49	Vástago	0.000	90.432	0.00	18.49	18.49
	Aplastamiento	9.288	87.532	10.61	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	6.423	50.240	12.79	Vástago	0.000	90.432	0.00	12.79	12.79
	Aplastamiento	6.423	87.604	7.33	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

Producido por una versión educativa de CYPE

Zutabe Zentrala eta Teilatuko habeen arteko lotura

Lotura honek IPE 300 Habeen muturreko plakak jasotzen ditu bata bestearen alboan eta M16-ko torlojuen bidez finkatu egiten dira.



3.53 Irudia – Teilatuko Habeen arteko lotura

Comprobaciones

1) Viga (a) IPE 300

– Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$41.38 \text{ kN} \leq 151.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{41.38} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{151.42} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{151.42} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{199.12} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 3.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{151.42} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{1.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{1.60} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{11.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{28} \text{ mm}$$

n : Igual e_{mn} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{35} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\sum l_{eff,1} : \underline{176} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\sum l_{eff,2} : \underline{202} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_{ef}$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{ef} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad 42.50 \text{ kN} \leq 442.65 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil. $N_{Ed} : 42.50 \text{ kN}$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión. $N_{c,Rd} : 442.65 \text{ kN}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión $A : 1690 \text{ mm}^2$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida. $f'_y : 275.00 \text{ N/mm}^2$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : 275.00 \text{ N/mm}^2$

ρ : Factor de reducción $\rho : 0.000$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : 1.05$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{s,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : 261.90 \text{ N/mm}^2$

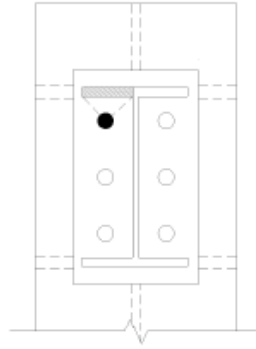
$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : 275.00 \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : 1.05$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprøv. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	803	10.05	210.18	4.78
Σ		10.05	210.18	4.78

Producido por una versión educativa de CYPE



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$21.24 \text{ kN} \leq 145.11 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{21.24} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{145.11} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{554.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120° . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

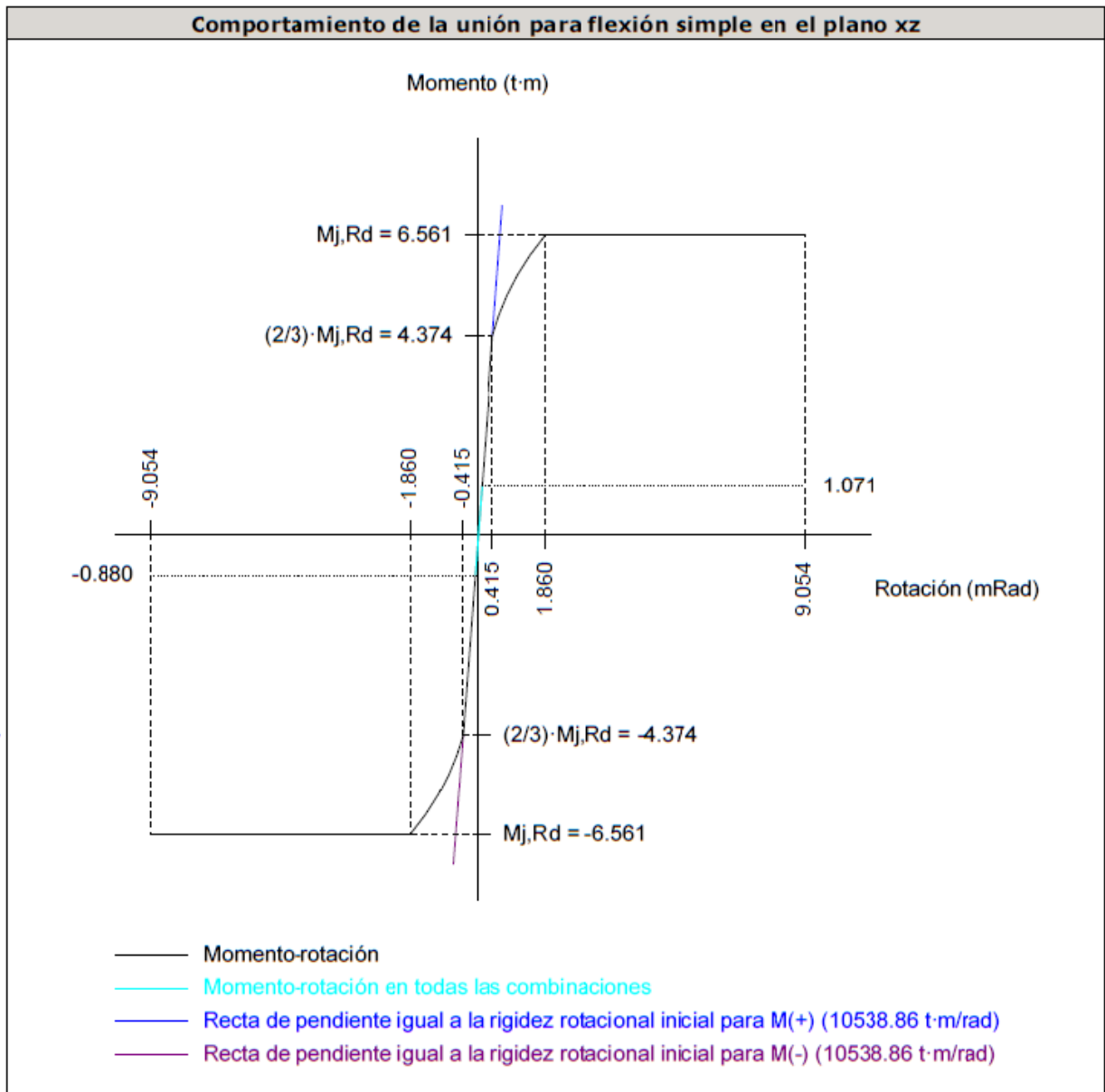
τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	5	150	10.7	71.74				
Soldadura del alma	En ángulo	4	262	7.1	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	5	150	10.7	71.74				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	35.6	25.8	0.0	57.1	14.80	35.6	10.87	410.0	0.85
Soldadura del alma	29.1	29.1	6.3	59.2	15.34	29.1	8.87	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	17.6	24.3	0.0	45.6	11.81	18.9	5.75	410.0	0.85

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	3654.51	10538.86
Calculada para momentos negativos	3654.51	10538.86



Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.10 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.10}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$F_{T,Rd1}$: 199.12 kN

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$F_{T,Rd3}$: 180.86 kN

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$10.50 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 64.36 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{10.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{64.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} \cdot d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.01 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{0.10} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{9.05} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{263} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.10}$$

2) Viga (b) IPE 300

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$41.38 \text{ kN} \leq 151.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{41.38} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{151.42} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{151.42} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{199.12} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 3.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{151.42} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{1.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{1.60} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{11.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{28} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{35} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{176} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma l_{eff,2} : \underline{202} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_r deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{er} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Producido por una versión educativa de CYPE

-Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$42.50 \text{ kN} \leq 442.65 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{42.50} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{442.65} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{1690} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

ρ : Factor de reducción

$$\rho : \underline{0.000}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

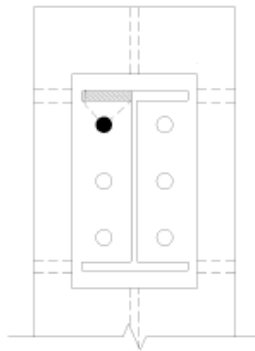
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	803	10.05	210.18	4.78
Σ		10.05	210.18	4.78



Producido por una versión educativa de CYPE

- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$21.24 \text{ kN} \leq 145.11 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{21.24} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{145.11} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A: Área sometida a tracción

$$A : \underline{554.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	5	150	10.7	71.74
Soldadura del alma	En ángulo	4	262	7.1	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	5	150	10.7	71.74
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>					

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	35.6	25.8	0.0	57.1	14.80	35.6	10.87	410.0	0.85
Soldadura del alma	29.1	29.1	6.3	59.2	15.34	29.1	8.87	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	17.6	24.3	0.0	45.6	11.81	18.9	5.75	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

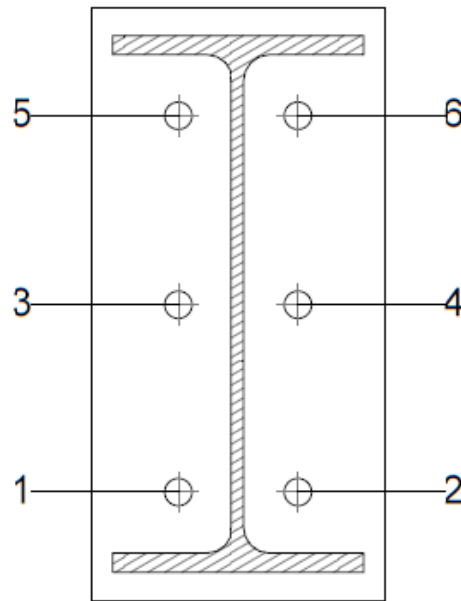
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axil de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



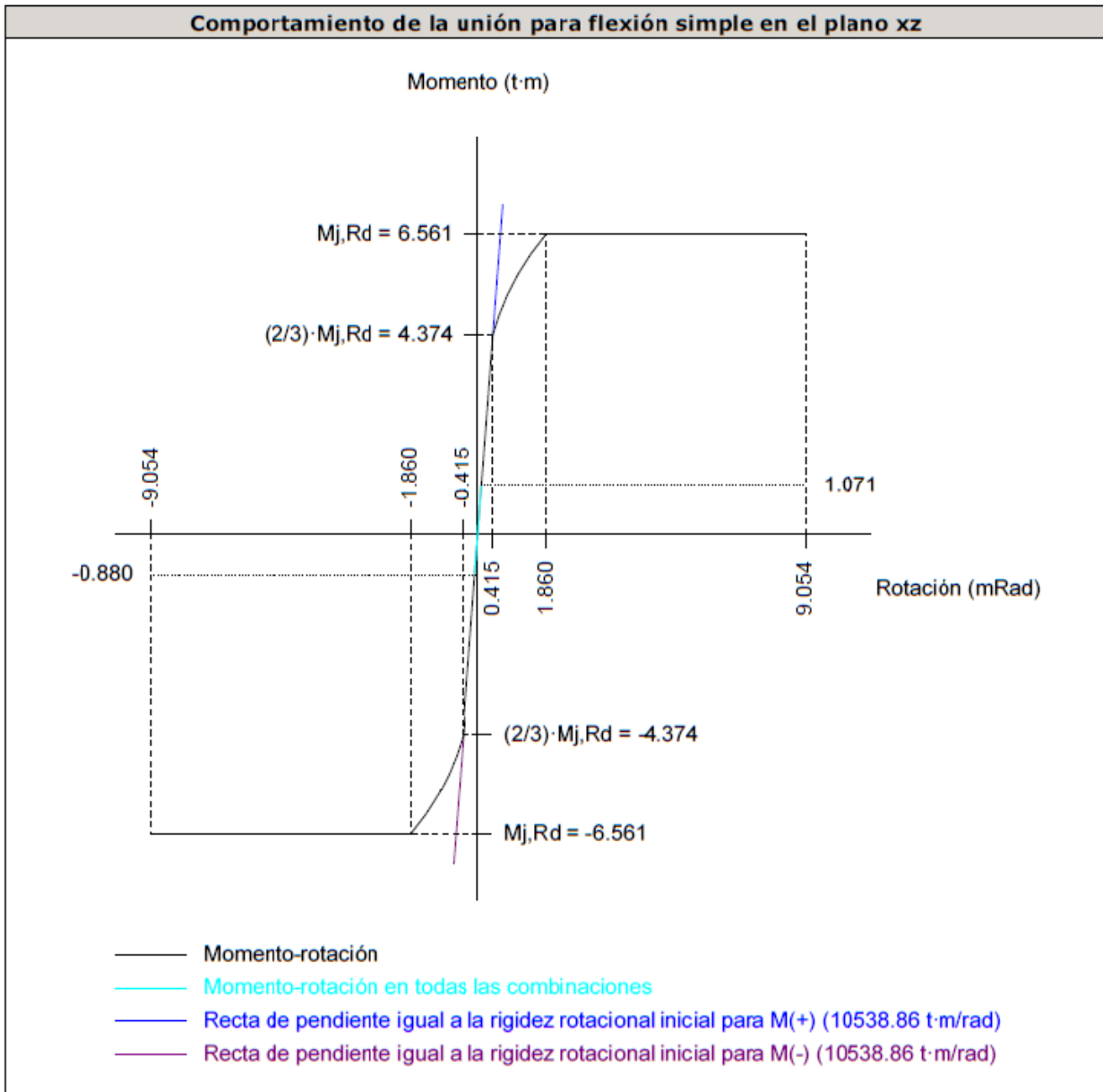
Producido por una versión educativa de CYPE

Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	52	111	71	32.0
2	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	52	111	71	32.0
3	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	52	111	71	32.0
4	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	52	111	71	32.0
5	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	52	111	71	32.0
6	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	52	111	71	32.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	8.110	50.240	16.14	Vástago	16.842	90.432	18.62	16.14	18.62
	Aplastamiento	8.110	144.320	5.62	Punzonamiento	16.842	172.573	9.76		
2	Sección transversal	8.110	50.240	16.14	Vástago	16.842	90.432	18.62	16.14	18.62
	Aplastamiento	8.110	144.320	5.62	Punzonamiento	16.842	172.573	9.76		
3	Sección transversal	2.753	50.240	5.48	Vástago	16.096	90.432	17.80	17.10	17.80
	Aplastamiento	2.753	144.320	1.91	Punzonamiento	16.096	172.573	9.33		
4	Sección transversal	2.753	50.240	5.48	Vástago	16.096	90.432	17.80	17.10	17.80
	Aplastamiento	2.753	144.320	1.91	Punzonamiento	16.096	172.573	9.33		
5	Sección transversal	2.753	50.240	5.48	Vástago	24.710	90.432	27.32	23.91	27.32
	Aplastamiento	2.753	144.320	1.91	Punzonamiento	24.710	172.573	14.32		
6	Sección transversal	2.753	50.240	5.48	Vástago	24.710	90.432	27.32	23.91	27.32
	Aplastamiento	2.753	144.320	1.91	Punzonamiento	24.710	172.573	14.32		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	3654.51	10538.86
Calculada para momentos negativos	3654.51	10538.86



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.10 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.10}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \underline{199.12} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$10.50 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 64.36 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{10.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{64.36} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.01 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{0.10} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{9.05} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{263} \text{ mm}$$

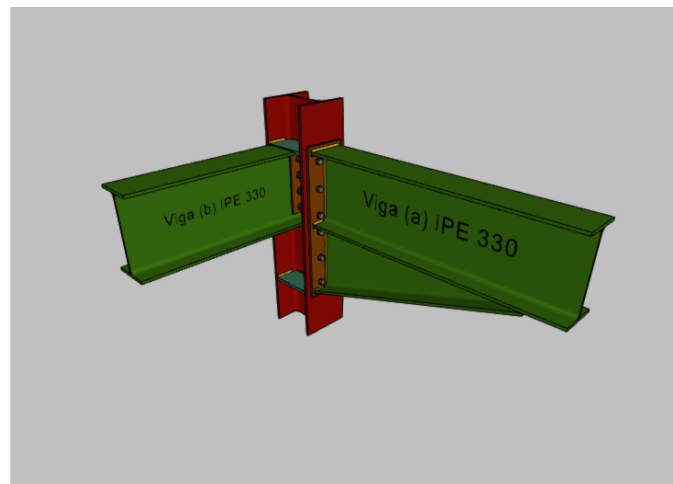
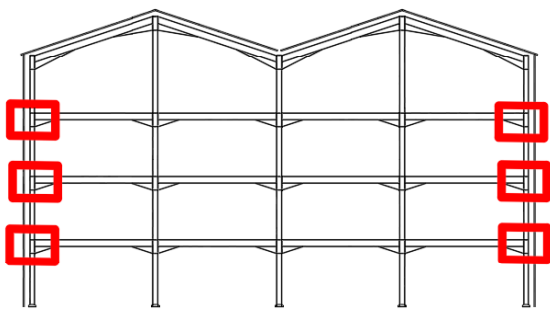
β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.10}$$

PORTIKO HASTIALEN LOTURAK

Alboko zutabeen eta habeen arteko lotura

Alboko zutabeak portikoaren barneko IPE 330 Habearen muturreko plaka jasotzen du hegalean eta M16-ko torlojuen bidez finkatu egiten da. Zutabearen ariman habetxo bat finkatzen da tailerrean aurretik soldatutako belarrarian, berriz ere M16-ko torloju bidez. Gainera lotura honek tailerrean soldatutako bi zurruntzaile daramatza.



3.54 Irudia - Alboko zutabeen eta habeen arteko lotura

Comprobaciones

1) Pilar HE 240 A

– Panel

Esbeltz del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 70\varepsilon$$

$$27.47 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \underline{206} \text{ mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \underline{7.5} \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$

$$290.27 \text{ kN} \leq 678.61 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \underline{290.27} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \underline{678.61} \text{ kN}$$

Donde:

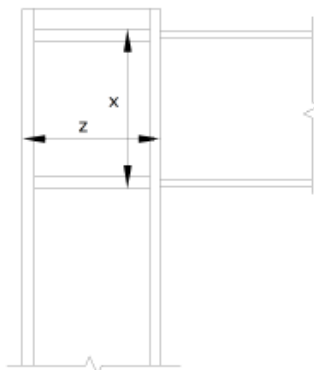
$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	1725	96.92	234.75	41.29
x	4987	290.27	678.61	42.77



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$46.20 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-46.20} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-37.28} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{67} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$38.59 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{38.59} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{36.70} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{79} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$46.20 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-46.20} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-37.29} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{67} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$38.59 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{38.59} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{36.70} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{79} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

- Comprobaciones por unión con elemento "

- Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

85.56 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal

σ : 85.56 N/mm²

τ: Tensión tangencial

τ : 0.01 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 330'

- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

47.28 kN ≤ 180.86 kN ✓

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

F_{T,Ed} : 47.28 kN

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

F_{T,Rd} : 180.86 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

F_{T,3,Rd} : 180.86 kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-ala, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

F_{T,2,Rd} : 190.76 kN

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-ala y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

F_{T,1,Rd} : 236.97 kN

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 6.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

F_{T,Rd} : 180.86 kN

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

M_{pl,1,Rd} : 1.14 kN·m

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

M_{pl,2,Rd} : 1.95 kN·m

∑F_{t,Rd}: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

∑F_{t,Rd} : 180.86 kN

t_f: Espesor de la chapa

t_f : 12.0 mm

Producido por una versión educativa de CYPE

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela	m : <u>19</u> mm
n : Igual e _{min} pero n ≤ 1,25·m	n : <u>24</u> mm
Σl_{eff,1} : Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*	Σl_{eff,1} : <u>121</u> mm
Σl_{eff,2} : Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*	Σl_{eff,2} : <u>207</u> mm
f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : <u>275.00</u> N/mm ²
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_r para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil.

N_{t,Rd}: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y: Tensión de límite elástico.

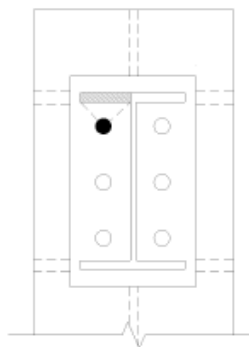
$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1065	9.56	278.90	3.43
Σ		9.56	278.90	3.43



– Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad 36.66 \text{ kN} \leq 130.65 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$$N_{Ed}: \text{Valor de cálculo del esfuerzo axial.} \quad N_{Ed} : \underline{36.66} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd}: \text{Resistencia de cálculo de la sección a tracción.} \quad N_{t,Rd} : \underline{130.65} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

$$A: \text{Área sometida a tracción} \quad A : \underline{499.00} \text{ mm}^2$$

$$f_{yd}: \text{Resistencia de cálculo.} \quad f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

$$f_y: \text{Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0}: \text{Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.} \quad \gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 330'

– Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad 27.99 \text{ kN} \leq 820.66 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$$N_{Ed}: \text{Esfuerzo de cálculo} \quad N_{Ed} : \underline{27.99} \text{ kN}$$

$$N_{Rd}: \text{Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, } V_{pl,Rd} \quad N_{Rd} : \underline{820.66} \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

$$A_v: \text{Área sometida a cortante} \quad A_v : \underline{4170} \text{ mm}^2$$

$$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$$

$$t: \text{Espesor del elemento en la superficie de unión} \quad t : \underline{7.5} \text{ mm}$$

$$t_p: \text{Espesor del elemento de unión} \quad t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

$$h_p: \text{Altura del elemento de unión} \quad h_p : \underline{270} \text{ mm}$$

$$f_u: \text{resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.} \quad f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M2}: \text{Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.} \quad \gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad 27.99 \text{ kN} \leq 114.17 \text{ kN} \quad \checkmark$$

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{27.99} \text{ kN}$

 N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión

$N_{Rd} : \underline{114.17} \text{ kN}$

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2\mu + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{(1-\beta) \gamma_{M5}}$$

Donde:

 t_w : Espesor del alma.

$t_w : \underline{7.5} \text{ mm}$

 k_m : Coeficiente de interacción

$k_m : \underline{1.00}$

$$\mu = \frac{h_p}{h_{tw}}$$

$\mu : \underline{1.57}$

 h_p : Altura del elemento de unión

$h_p : \underline{270} \text{ mm}$

 h_{tw} : Canto del alma entre radios de acuerdo

$h_{tw} : \underline{172} \text{ mm}$

$$\beta = \frac{t_p}{h_{tw}} \leq 0.2$$

$\beta : \underline{0.05}$

 t_p : Espesor del elemento de unión

$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

 γ_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.

$\gamma_{M5} : \underline{1.00}$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

 β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1. f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión. α : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{||}$: tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{||}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises				Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w	
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	$\tau_{ }$ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)			Aprov. (%)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	32.7	32.7	0.0	65.3	16.93	32.7	9.96	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	37.9	65.6	17.01	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	27.3	27.3	0.0	54.6	14.14	27.3	8.32	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	37.3	64.6	16.74	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	32.7	32.7	0.0	65.3	16.93	32.7	9.96	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	37.9	65.6	17.01	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	27.3	27.3	0.0	54.6	14.14	27.3	8.32	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	37.3	64.6	16.74	0.0	0.00	410.0	0.85

2) Viga (a) IPE 330

– Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

47.28 kN ≤ 161.94 kN ✓

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$F_{T,Ed}$: 47.28 kN

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$F_{T,Rd}$: 161.94 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} \quad F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} \quad F_{T,2,Rd} : \underline{161.94} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,1,Rd} : \underline{236.97} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 6.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad F_{T,Rd} : \underline{161.94} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,1,Rd} : \underline{1.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,2,Rd} : \underline{2.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\sum F_{t,Rd}: \text{Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos} \quad \sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

$$t_f: \text{Espesor de la chapa} \quad t_f : \underline{12.0} \text{ mm}$$

$$m: \text{Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela} \quad m : \underline{32} \text{ mm}$$

$$n: \text{Igual } e_{mn} \text{ pero } n \leq 1,25 \cdot m \quad n : \underline{40} \text{ mm}$$

$$\sum l_{eff,1}: \text{Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.}^* \quad \sum l_{eff,1} : \underline{200} \text{ mm}$$

$$\sum l_{eff,2}: \text{Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.}^* \quad \sum l_{eff,2} : \underline{233} \text{ mm}$$

$$f_y: \text{Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0}: \text{Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.} \quad \gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_r$ deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{er} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Producido por una versión educativa de CYPE

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad 103.58 \text{ kN} \leq 506.36 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$$N_{Ed}: \text{Valor de cálculo del esfuerzo axil.} \quad N_{Ed} : \underline{103.58} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd}: \text{Resistencia de cálculo de la sección a compresión.} \quad N_{c,Rd} : \underline{506.36} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

$$A: \text{Área sometida a compresión} \quad A : \underline{1933} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

ρ : Factor de reducción

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\rho : \underline{0.000}$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

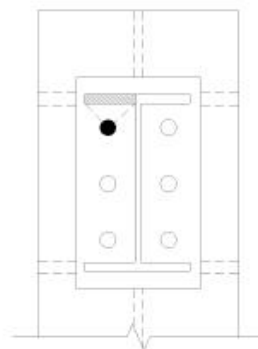
$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	920	12.39	240.95	5.14
Σ		12.39	240.95	5.14



- Alma

Cargas Concentradas (CTE DB SE A, 6.3.3.5)

No es necesario rigidizar el alma de una pieza sometida a cargas concentradas actuando sobre las alas si se cumple que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad (6.42)$$

0.07 ≤ 1 ✓

Donde:

F_{Ed}: Valor de cálculo de la carga concentrada,

F_{Ed} : 18.87 kN

F_{b,Rd}: Resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas.

F_{b,Rd} : 268.58 kN

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_{yw} \cdot t_w \cdot L_{ef}}{\gamma_{M1}} \quad (6.43)$$

Donde:

$$L_{ef} = \chi_F \cdot \ell_y \quad (6.44)$$

L_{ef} : 137.00 mm

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1 \quad (6.45)$$

χ_F : 1.00

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} \quad (6.46)$$

λ̄_F : 0.45

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{d} \quad (6.47)$$

F_{cr} : 1570.57 kN

Los valores de *l_y* y de *k_F* dependen del caso considerado, de entre los representados en la figura 6.6:

- Caso a): carga (o reacción) aplicada a un ala y equilibrada por cortantes en el alma.

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{d}{a} \right)^2$$

k_F : 6.05

$$\ell_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) \leq a$$

l_y : 137

viniedo cada coeficiente dado por las expresiones:

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w}$$

m₁ : 21.33

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 \left(\frac{d}{t_f} \right) & \text{si } \bar{\lambda}_F > 0,5 \text{ (cabe aproximar } \bar{\lambda}_F \text{ con la} \\ & \text{obtenida usando } m_2=0 \text{ para} \\ 0 & \text{si } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \text{ aproximar } l_y \end{cases}$$

m₂ : 0.00

Donde:

s_s: Longitud de la entrega rígida de la carga.

s_s : 8 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 8 mm

t_f: Espesor del ala.

t_f : 12 mm

f_{yw}: Tensión de límite elástico del alma.

f_{yw} : 275.00 N/mm²

f_{yb}: Tensión de límite elástico del ala.

f_{yb} : 275.00 N/mm²

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000.0 N/mm²

d: distancia entre alas

d : 307 mm

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción **N_{Ed}** deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

36.66 kN ≤ 216.09 kN ✓

Producido por una versión educativa de CYPE

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{36.66} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{216.09} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{825.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120° . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	11.5	90.00				
Soldadura del alma	En ángulo	4	271	7.5	90.00				
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	11.5	90.00				
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	4	304	7.5	90.00				
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	6	160	11.5	72.12				
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	5	1000	7.5	90.00				
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	8	160	11.5	72.12				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	29.7	29.7	0.0	59.4	15.39	29.7	9.05	410.0	0.85
Soldadura del alma	32.5	32.5	10.2	67.3	17.44	32.5	9.90	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	15.8	15.8	0.0	31.6	8.19	15.8	4.82	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	26.4	26.4	10.2	55.7	14.44	26.4	8.05	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	24.5	33.6	0.0	63.2	16.37	31.8	9.70	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	8.1	14.0	3.62	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

- 2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

- a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_u o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

- b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

- 3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$ por tornillo, será la menor de:

- a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

- b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$ dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

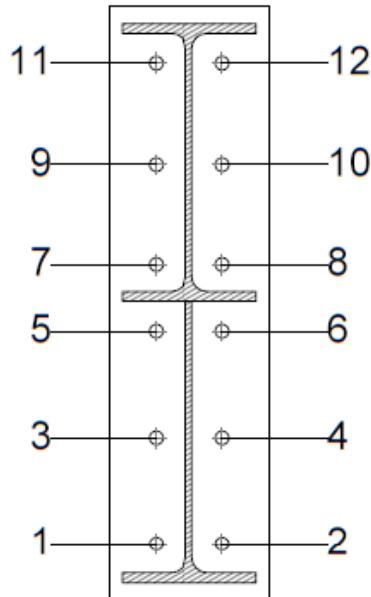
siendo

$F_{v,Ed}$: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerzo axil de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

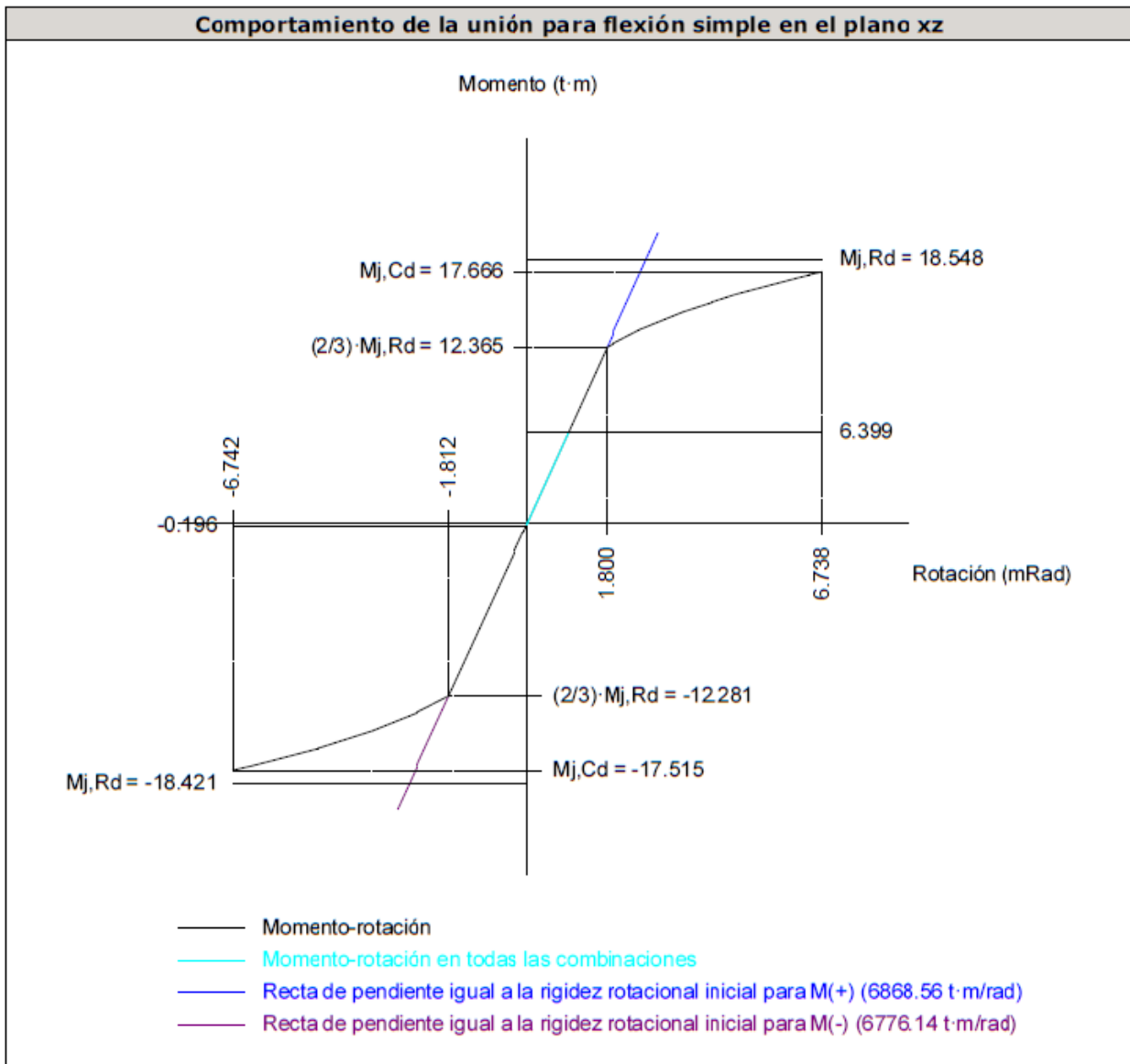
Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	126	80	35.3
2	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	126	80	35.3
3	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	126	80	36.0
4	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	126	80	36.0
5	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	79	80	35.3
6	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	79	80	35.3
7	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	79	80	32.0
8	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	79	80	32.0
9	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	120	80	36.0
10	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	120	80	36.0
11	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	120	80	35.3
12	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	120	80	35.3

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	23.471	50.240	46.72	Vástago	0.029	90.432	0.03	46.72	46.72
	Aplastamiento	23.471	157.440	14.91	Punzonamiento	0.029	188.262	0.02		
2	Sección transversal	23.471	50.240	46.72	Vástago	0.029	90.432	0.03	46.72	46.72
	Aplastamiento	23.471	157.440	14.91	Punzonamiento	0.029	188.262	0.02		
3	Sección transversal	0.691	50.240	1.37	Vástago	5.343	90.432	5.91	4.22	5.91
	Aplastamiento	0.691	157.440	0.44	Punzonamiento	5.343	188.262	2.84		
4	Sección transversal	0.688	50.240	1.37	Vástago	5.343	90.432	5.91	4.22	5.91
	Aplastamiento	0.688	157.440	0.44	Punzonamiento	5.343	188.262	2.84		
5	Sección transversal	0.691	50.240	1.37	Vástago	12.779	90.432	14.13	10.09	14.13
	Aplastamiento	0.691	157.440	0.44	Punzonamiento	12.779	188.262	6.79		
6	Sección transversal	0.688	50.240	1.37	Vástago	12.779	90.432	14.13	10.09	14.13
	Aplastamiento	0.688	157.440	0.44	Punzonamiento	12.779	188.262	6.79		
7	Sección transversal	0.691	50.240	1.38	Vástago	16.301	90.432	18.03	12.88	18.03
	Aplastamiento	0.691	157.440	0.44	Punzonamiento	16.301	188.262	8.66		
8	Sección transversal	0.688	50.240	1.37	Vástago	16.301	90.432	18.03	12.88	18.03
	Aplastamiento	0.688	157.440	0.44	Punzonamiento	16.301	188.262	8.66		
9	Sección transversal	0.691	50.240	1.38	Vástago	25.095	90.432	27.75	19.82	27.75
	Aplastamiento	0.691	157.440	0.44	Punzonamiento	25.095	188.262	13.33		
10	Sección transversal	0.688	50.240	1.37	Vástago	25.095	90.432	27.75	19.82	27.75
	Aplastamiento	0.688	157.440	0.44	Punzonamiento	25.095	188.262	13.33		
11	Sección transversal	0.691	50.240	1.38	Vástago	26.401	90.432	29.19	20.85	29.19
	Aplastamiento	0.691	157.440	0.44	Punzonamiento	26.401	188.262	14.02		
12	Sección transversal	0.688	50.240	1.37	Vástago	26.401	90.432	29.19	20.85	29.19
	Aplastamiento	0.688	157.440	0.44	Punzonamiento	26.401	188.262	14.02		

Producido por una versión educativa de CYPE

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	860.74	6868.56
Calculada para momentos negativos	860.74	6776.14



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.31 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.31}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \underline{236.97} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$62.77 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 181.96 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \frac{62.77}{\text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \frac{181.96}{\text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} \cdot d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.14 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \frac{0.93}{\text{ mRad}}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \frac{6.74}{\text{ mRad}}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \frac{612}{\text{ mm}}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \frac{1.31}{\text{}}$$

3) Viga (b) IPE 330

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 306.20 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \frac{0.10}{\text{ kN}}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \frac{306.20}{\text{ kN}}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \frac{2025}{\text{ mm}^2}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \frac{261.90}{\text{ N/mm}^2}$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 35.80 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \frac{0.01}{\text{ kN}\cdot\text{m}}$$

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$$M_{c,Rd} : \frac{35.80}{\text{ kN}\cdot\text{m}}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$W_{pl} : \underline{136687.5} \text{ mm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$$

siendo

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 153.10 \text{ kN}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$44.14 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-22.29} \text{ N/mm}^2$$

τ_{yz} : Tensión tangencial yz

$$\tau_{yz} : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

τ_{xz} : Tensión tangencial xz

$$\tau_{xz} : \underline{-22.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd}$$

$$22.51 \text{ N/mm}^2 \leq 228.15 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$$\sigma_{c,Ed} : \underline{22.51} \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$$\sigma_{b,Rd} : \underline{228.15} \text{ N/mm}^2$$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

χ : 0.87

f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$

f_{yd} : 2.57 N/mm²

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

ϕ : 0.66

α : Coeficiente de imperfección

α : 0.49

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{12 \cdot f_y}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.45

Donde:

β : Coeficiente de pandeo

β : 2.00

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

L : 45 mm

t : Espesor de la chapa

t : 8.0 mm

E : Módulo de elasticidad

E : 210000.00 N/mm²

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

0.25 ≤ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

f_u : 410.00 N/mm²

t : Espesor de la chapa

t : 8.0 mm

d : Diámetro del tornillo.

d : 16 mm

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

γ_{M2} : 1.25

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

f_{ub} : 800.00 N/mm²

d_0 : Diámetro del agujero.

d_0 : 18 mm

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	8.75	87.47
z	0.50	27.0	--	-11.88	52.48

Producido por una versión educativa de CYPE

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
α : coeficiente igual al menor de los valores: $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$ e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.					

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

$$47.51 \text{ kN} \leq 239.52 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{47.51} \text{ kN}$$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \underline{239.52} \text{ kN}$$

$$N_{ef,Rd} = \min \left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \underline{1584.00} \text{ mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

- Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.26 \leq 1 \quad \checkmark$$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{7.5} \text{ mm}$$

d : Diámetro del tornillo.

$$d : \underline{16} \text{ mm}$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$$

d_0 : Diámetro del agujero.

$$d_0 : \underline{18} \text{ mm}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	1.00	112.5	--	-9.07	98.40
z	0.50	27.0	--	-11.88	49.20

α : coeficiente igual al menor de los valores:
 $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0$
 e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.
 p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

47.51 kN ≤ 233.62 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{47.51} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{233.62} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min \left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{1545.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

Producido por una versión educativa de CYPE

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	270	7.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	12.6	12.6	17.6	39.6	10.25	12.8	3.89	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

$$- \text{ Para } e_1 \text{ y } e_2 \begin{cases} \leq 40\text{mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150\text{mm} \end{cases}$$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$ por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$ dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m : menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

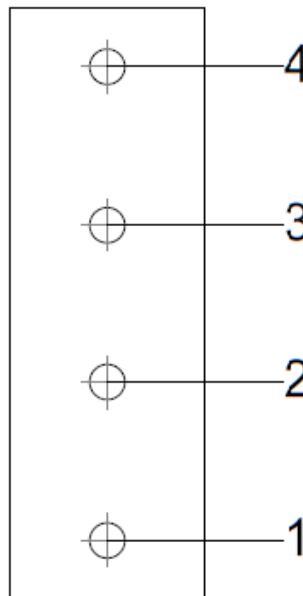
siendo

$F_{v,Ed}$: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

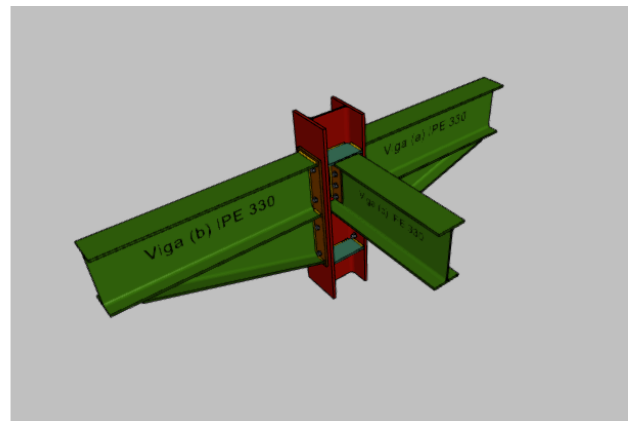
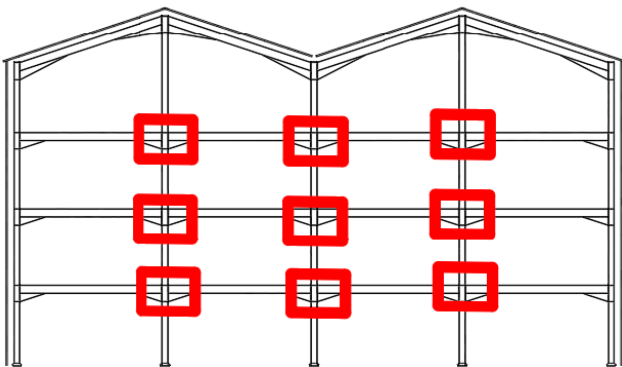
Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
4	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tomillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	14.752	50.240	29.36	Vástago	0.000	90.432	0.00	29.36	29.36
	Aplastamiento	14.752	59.618	24.74	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	12.206	50.240	24.29	Vástago	0.000	90.432	0.00	24.29	24.29
	Aplastamiento	12.206	103.756	11.76	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	12.282	50.240	24.45	Vástago	0.000	90.432	0.00	24.45	24.45
	Aplastamiento	12.282	103.494	11.87	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
4	Sección transversal	14.942	50.240	29.74	Vástago	0.000	90.432	0.00	29.74	29.74
	Aplastamiento	14.942	97.369	15.35	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

Zutabe Zentralen eta haben arteko lotura

Zutabe Zentralak portikoaren barneko IPE 330 Haben muturreko plakak jasotzen dituzte hegaletan eta M16-ko torlojuen bidez finkatu egiten dira. Zutabearen ariman habetxo bi finkatzen dira tailerrean aurretik soldatutako belarrietan, berriz ere M16-ko torloju bidez. Gainera lotura honek tailerrean soldatutako bi zurruntzaile daramatza.



3.55 Irudia – Zutabe Zentralen eta haben arteko lotura

Comprobaciones

1) Pilar HE 260 B

– Panel

Esbeltz del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 70\varepsilon$$

$$22.50 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \underline{225} \text{ mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \underline{10.0} \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$

$$135.75 \text{ kN} \leq 904.82 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \underline{135.75} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \underline{904.82} \text{ kN}$$

Donde:

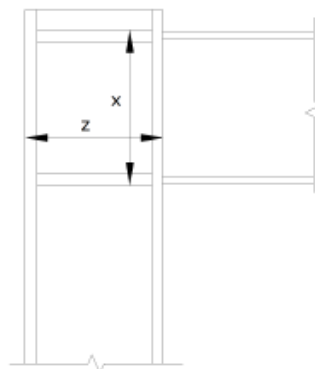
$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2600	50.42	353.83	14.25
x	6649	135.75	904.82	15.00



- Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$53.79 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{53.78} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{44.21} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{69} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.63} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.73} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

- Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$45.35 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-45.35} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-44.90} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{83} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{-0.23} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{-0.26} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$56.66 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{56.65} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{46.57} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{69} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{-0.39} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{-0.45} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$44.91 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-44.91} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-44.46} \text{ kN}$$

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{83} \text{ mm}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.00} \text{ kN}$$

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

- Comprobaciones por unión con elemento "

- Ala

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$58.28 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \frac{58.28}{\text{N/mm}^2}$$

τ : Tensión tangencial

$$\tau : \frac{0.00}{\text{N/mm}^2}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{\text{N/mm}^2}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{\text{N/mm}^2}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 330'

- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$78.72 \text{ kN} \leq 180.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \frac{78.72}{\text{kN}}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \frac{180.86}{\text{kN}}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \frac{180.86}{\text{kN}}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,2,Rd} : \frac{251.98}{\text{kN}}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \frac{251.98}{\text{kN}}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 4.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \frac{180.86}{\text{kN}}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \frac{2.49}{\text{kN}\cdot\text{m}}$$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \frac{180.86}{\text{kN}}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \frac{17.5}{\text{mm}}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \frac{20}{\text{mm}}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.
 f_y : Tensión de límite elástico.
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\Sigma l_{eff,1}$: $\frac{124}{}$ mm
 f_y : $\frac{275.00}{}$ N/mm²
 γ_{M0} : $\frac{1.05}{}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_w para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

f_{yd} : $\frac{261.90}{}$ N/mm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

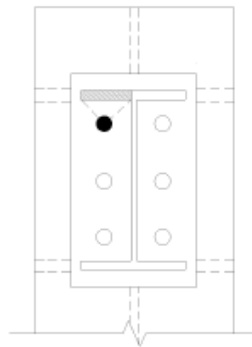
f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : $\frac{275.00}{}$ N/mm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : $\frac{1.05}{}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1216	14.73	318.59	4.62
Σ		14.73	318.59	4.62



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

51.97 kN ≤ 179.64 kN ✓

Producido por una versión educativa de CYPE

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil. $N_{Ed} : \underline{51.97} \text{ kN}$
 $N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción. $N_{t,Rd} : \underline{179.64} \text{ kN}$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción $A : \underline{686.00} \text{ mm}^2$
 f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$
 $f_y = f_y / \gamma_{M0}$
 f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 330'

– Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd} \quad \mathbf{78.72 \text{ kN} \leq 180.86 \text{ kN} \quad \checkmark}$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante $F_{T,Ed} : \underline{78.72} \text{ kN}$
 $F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente $F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} \quad F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,2,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,1,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 4.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$ $M_{pl,1,Rd} : \underline{2.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos $\sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$
 t_f : Espesor de la chapa $t_f : \underline{17.5} \text{ mm}$
 m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela $m : \underline{20} \text{ mm}$
 $\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1. $\sum l_{eff,1} : \underline{124} \text{ mm}$

Producido por una versión educativa de CYPE

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{nr} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_w para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

f_y : Tensión de límite elástico.

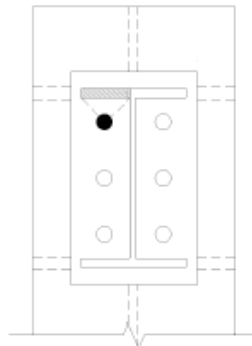
$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Producido por una versión educativa de CYPE

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1216	14.73	318.59	4.62
Σ		14.73	318.59	4.62



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$

51.97 kN ≤ 179.64 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil. $N_{Ed} : \underline{51.97} \text{ kN}$
 $N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción. $N_{t,Rd} : \underline{179.64} \text{ kN}$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción $A : \underline{686.00} \text{ mm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (c) IPE 330'

– Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad 73.80 \text{ kN} \leq 1094.21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo $N_{Ed} : \underline{73.80} \text{ kN}$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$ $N_{Rd} : \underline{1094.21} \text{ kN}$

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

A_v : Área sometida a cortante $A_v : \underline{5560} \text{ mm}^2$

$$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$$

t : Espesor del elemento en la superficie de unión $t : \underline{10.0} \text{ mm}$

t_p : Espesor del elemento de unión $t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$

h_p : Altura del elemento de unión $h_p : \underline{270} \text{ mm}$

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión. $f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión. $\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad 73.80 \text{ kN} \leq 195.58 \text{ kN} \quad \checkmark$$

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo $N_{Ed} : \underline{73.80} \text{ kN}$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo del alma a flexión $N_{Rd} : \underline{195.58} \text{ kN}$

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2\mu + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{(1-\beta) \gamma_{M5}}$$

Donde:

Producido por una versión educativa de CYPE

t_w : Espesor del alma.	$t_w : \underline{10.0}$ mm
k_m : Coeficiente de interacción	$k_m : \underline{1.00}$
$\mu = \frac{h_p}{h_{iw}}$	$\mu : \underline{1.45}$
h_p : Altura del elemento de unión	$h_p : \underline{270}$ mm
h_{iw} : Canto del alma entre radios de acuerdo	$h_{iw} : \underline{187}$ mm
$\beta = \frac{t_p}{h_{iw}} \leq 0.2$	$\beta : \underline{0.04}$
t_p : Espesor del elemento de unión	$t_p : \underline{8.0}$ mm
f_y : Tensión de límite elástico.	$f_y : \underline{275.00}$ N/mm ²
γ_{M5} : Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.	$\gamma_{M5} : \underline{1.00}$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	38.0	38.0	0.6	76.1	19.71	38.0	11.59	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	13.0	22.5	5.82	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	32.1	32.1	0.2	64.1	16.62	32.1	9.78	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	13.7	23.7	6.14	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	40.1	40.1	0.4	80.1	20.77	40.1	12.21	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	12.9	22.4	5.81	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	31.8	31.8	0.0	63.5	16.46	31.8	9.68	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	13.6	23.6	6.12	0.0	0.00	410.0	0.85

Producido por una versión educativa de CYPE

2) Viga (b) IPE 330

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

78.72 kN ≤ 175.41 kN ✓

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

F_{T,Ed} : 78.72 kN

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

F_{T,Rd} : 175.41 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

F_{T,3,Rd} : 180.86 kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{175.41} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{322.54} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 4.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{175.41} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{3.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\sum F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\sum F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{14.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{36} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{45} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\sum l_{eff,1} : \underline{226} \text{ mm}$$

$\sum l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\sum l_{eff,2} : \underline{237} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual $\sum l_{eff}$, deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$128.80 \text{ kN} \leq 506.36 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{128.80} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{506.36} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{1933} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : <u>275.00</u> N/mm ²
ρ : Factor de reducción	ρ : <u>0.000</u>
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

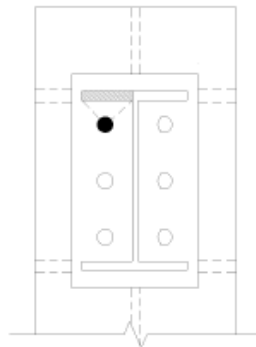
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	920	20.34	240.95	8.44
Σ		20.34	240.95	8.44



-Alma

Cargas Concentradas (CTE DB SE A, 6.3.3.5)

No es necesario rigidizar el alma de una pieza sometida a cargas concentradas actuando sobre las alas si se cumple que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad (6.42)$$

0.09 ≤ 1 ✓

Donde:

F_{Ed}: Valor de cálculo de la carga concentrada,

F_{Ed} : 25.20 kN

F_{b,Rd}: Resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas.

F_{b,Rd} : 268.58 kN

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_{yw} \cdot t_w \cdot L_{ef}}{\gamma_{M1}} \quad (6.43)$$

Donde:

$$L_{ef} = \chi_F \cdot \ell_y \quad (6.44)$$

L_{ef} : 137.00 mm

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1 \quad (6.45)$$

χ_F : 1.00

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} \quad (6.46)$$

λ̄_F : 0.45

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{d} \quad (6.47)$$

F_{cr} : 1570.57 kN

Los valores de ℓ_y y de k_F dependen del caso considerado, de entre los representados en la figura 6.6:

- Caso a): carga (o reacción) aplicada a un ala y equilibrada por cortantes en el alma.

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{d}{a} \right)^2$$

k_F : 6.05

$$\ell_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) \leq a$$

ℓ_y : 137

viniendo cada coeficiente dado por las expresiones:

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w}$$

m₁ : 21.33

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 \left(\frac{d}{t_f} \right) & \text{si } \bar{\lambda}_F > 0,5 \text{ (cabe aproximar } \bar{\lambda}_F \text{ con la} \\ 0 & \text{si } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \text{ obtenida usando } m_2=0 \text{ para} \\ & \text{aproximar } \ell_y) \end{cases}$$

m₂ : 0.00

Donde:

s_s: Longitud de la entrega rígida de la carga.

s_s : 8 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 8 mm

t_f: Espesor del ala.

t_f : 12 mm

f_{yw}: Tensión de límite elástico del alma.

f_{yw} : 275.00 N/mm²

f_{yb}: Tensión de límite elástico del ala.

f_{yb} : 275.00 N/mm²

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000.0 N/mm²

d: distancia entre alas

d : 307 mm

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$51.97 \text{ kN} \leq 245.01 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{51.97} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{245.01} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{935.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	11.5	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	4	271	7.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	11.5	90.00
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	4	304	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	6	160	11.5	72.12
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	5	1000	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	8	160	11.5	72.12

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ _∥ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	59.0	59.0	0.5	118.0	30.58	59.0	17.99	410.0	0.85
Soldadura del alma	45.4	45.4	11.1	92.9	24.07	45.4	13.85	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	0.0	0.0	0.4	0.8	0.20	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	33.0	33.0	11.4	69.0	17.87	33.0	10.07	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	47.9	65.8	0.0	123.6	32.04	64.8	19.74	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	8.8	15.2	3.95	0.1	0.03	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

- 2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

- a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

- b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

- 3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

- a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

- b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

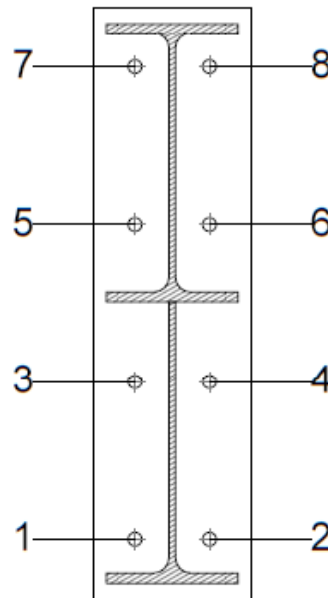
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

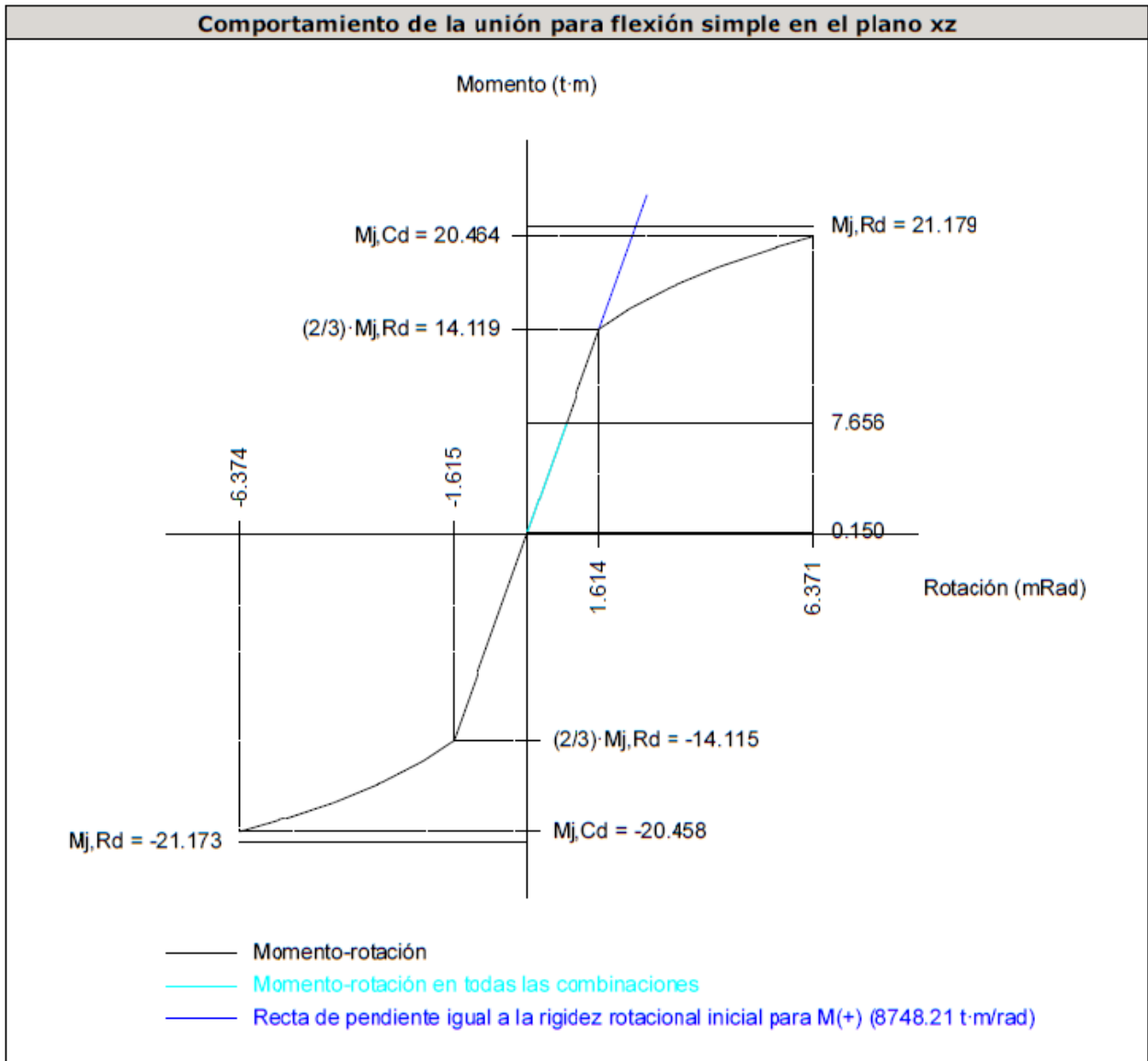
Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
7	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
8	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tomillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	26.225	64.340	40.76	Vástago	12.313	90.432	13.62	40.76	40.76
	Aplastamiento	26.225	183.680	14.28	Punzonamiento	12.313	219.639	5.61		
2	Sección transversal	26.784	64.340	41.63	Vástago	12.745	90.432	14.09	41.63	41.63
	Aplastamiento	26.784	183.680	14.58	Punzonamiento	12.745	219.639	5.80		
3	Sección transversal	3.056	64.340	4.75	Vástago	14.904	90.432	16.48	14.92	16.48
	Aplastamiento	3.056	183.680	1.66	Punzonamiento	14.904	219.639	6.79		
4	Sección transversal	7.930	64.340	12.33	Vástago	15.375	90.432	17.00	15.61	17.00
	Aplastamiento	7.930	183.680	4.32	Punzonamiento	15.375	219.639	7.00		
5	Sección transversal	3.063	64.340	4.76	Vástago	29.428	90.432	32.54	23.24	32.54
	Aplastamiento	3.063	183.680	1.67	Punzonamiento	29.428	219.639	13.40		
6	Sección transversal	3.003	64.340	4.67	Vástago	29.428	90.432	32.54	23.24	32.54
	Aplastamiento	3.003	183.620	1.64	Punzonamiento	29.428	219.639	13.40		
7	Sección transversal	3.075	64.340	4.78	Vástago	40.581	90.432	44.87	32.05	44.87
	Aplastamiento	3.075	183.680	1.67	Punzonamiento	40.581	219.639	18.48		
8	Sección transversal	3.015	64.340	4.69	Vástago	40.581	90.432	44.87	32.05	44.87
	Aplastamiento	3.015	183.532	1.64	Punzonamiento	40.581	219.639	18.48		

Producido por una versión educativa de CYPE

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	789.63	8748.21
Calculada para momentos negativos	789.63	8742.50



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.39 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.39}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$75.10 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 207.77 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{75.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{207.77} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.14 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{0.88} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{6.37} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h: Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{607} \text{ mm}$$

β: Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.39}$$

3) Viga (a) IPE 330

– Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$78.72 \text{ kN} \leq 175.41 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{78.72} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{175.41} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{175.41} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{322.54} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 4.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{175.41} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{3.04} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{14.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{36} \text{ mm}$$

n : Igual e_{mn} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{45} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{226} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma l_{eff,2} : \underline{237} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_r deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_r para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Producido por una versión educativa de CYPE

-Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$128.80 \text{ kN} \leq 506.36 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{128.80} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{506.36} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{1933} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

ρ : Factor de reducción

$$\rho : \underline{0.000}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Quando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

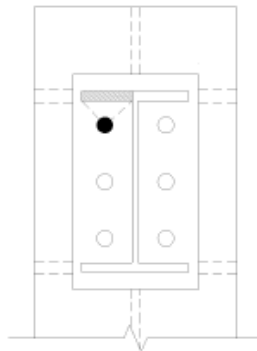
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	920	20.34	240.95	8.44
Σ		20.34	240.95	8.44



Producido por una versión educativa de CYPE

- Alma

Cargas Concentradas (CTE DB SE A, 6.3.3.5)

No es necesario rigidizar el alma de una pieza sometida a cargas concentradas actuando sobre las alas si se cumple que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad (6.42)$$

$$0.09 \leq 1 \quad \checkmark$$

Donde:

F_{Ed} : Valor de cálculo de la carga concentrada,

$$F_{Ed} : \underline{25.20} \text{ kN}$$

$F_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas.

$$F_{b,Rd} : \underline{268.58} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_{yw} \cdot t_w \cdot L_{ef}}{\gamma_{M1}} \quad (6.43)$$

Donde:

$$L_{ef} = \chi_F \cdot \ell_y \quad (6.44)$$

$$L_{ef} : \underline{137.00} \text{ mm}$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1 \quad (6.45)$$

$$\chi_F : \underline{1.00}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} \quad (6.46)$$

$$\bar{\lambda}_F : \underline{0.45}$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{d} \quad (6.47)$$

$$F_{cr} : \underline{1570.57} \text{ kN}$$

Los valores de ℓ_y y de k_F dependen del caso considerado, de entre los representados en la figura 6.6:

- Caso a): carga (o reacción) aplicada a un ala y equilibrada por cortantes en el alma.

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{d}{a} \right)^2$$

$$k_F : \underline{6.05}$$

$$\ell_y = s_s + 2 \cdot t_r \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) \leq a$$

$$\ell_y : \underline{137}$$

viniedo cada coeficiente dado por las expresiones:

$$m_1 = \frac{f_{yt} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w}$$

$$m_1 : \underline{21.33}$$

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 \left(\frac{d}{t_r} \right) & \text{si } \bar{\lambda}_F > 0,5 \text{ (cabe aproximar } \bar{\lambda}_F \text{ con la} \\ & \text{obtenida usando } m_2=0 \text{ para} \\ 0 & \text{si } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \text{ aproximar } \ell_y \end{cases}$$

$$m_2 : \underline{0.00}$$

Donde:

s_s : Longitud de la entrega rígida de la carga.

$$s_s : \underline{8} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8} \text{ mm}$$

t_r : Espesor del ala.

$$t_r : \underline{12} \text{ mm}$$

f_{yw} : Tensión de límite elástico del alma.

$$f_{yw} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{yt} : Tensión de límite elástico del ala.

$$f_{yt} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.0} \text{ N/mm}^2$$

d : distancia entre alas

$$d : \underline{307} \text{ mm}$$

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$51.97 \text{ kN} \leq 245.01 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{51.97} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{245.01} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{935.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	11.5	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	4	271	7.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	11.5	90.00
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	4	304	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	6	160	11.5	72.12
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	5	1000	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	8	160	11.5	72.12

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	59.0	59.0	0.5	118.0	30.58	59.0	17.99	410.0	0.85
Soldadura del alma	45.4	45.4	11.1	92.9	24.07	45.4	13.85	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	0.0	0.0	0.4	0.8	0.20	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	33.0	33.0	11.4	69.0	17.87	33.0	10.07	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	47.9	65.8	0.0	123.6	32.04	64.8	19.74	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	8.8	15.2	3.95	0.1	0.03	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

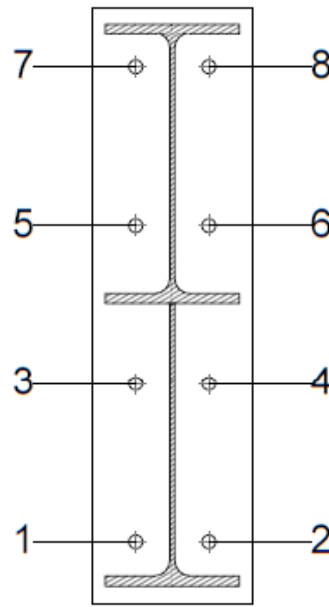
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

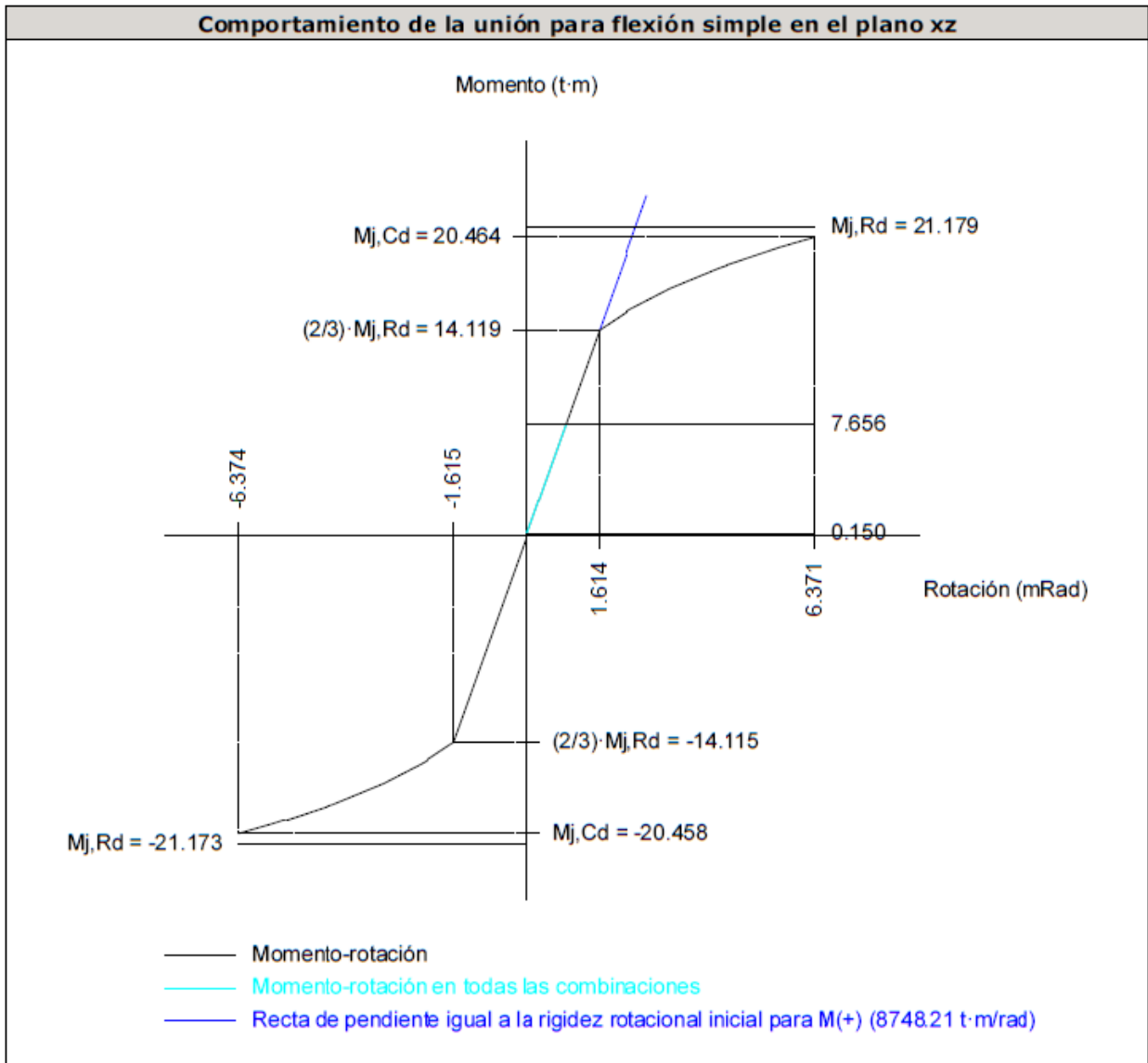
Disposición							
Tomillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
7	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0
8	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	187	88	39.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	26.784	64.340	41.63	Vástago	12.745	90.432	14.09	41.63	41.63
	Aplastamiento	26.784	183.680	14.58	Punzonamiento	12.745	219.639	5.80		
2	Sección transversal	26.225	64.340	40.76	Vástago	12.313	90.432	13.62	40.76	40.76
	Aplastamiento	26.225	183.680	14.28	Punzonamiento	12.313	219.639	5.61		
3	Sección transversal	7.930	64.340	12.33	Vástago	15.375	90.432	17.00	15.61	17.00
	Aplastamiento	7.930	183.680	4.32	Punzonamiento	15.375	219.639	7.00		
4	Sección transversal	3.056	64.340	4.75	Vástago	14.904	90.432	16.48	14.92	16.48
	Aplastamiento	3.056	183.680	1.66	Punzonamiento	14.904	219.639	6.79		
5	Sección transversal	3.003	64.340	4.67	Vástago	29.428	90.432	32.54	23.24	32.54
	Aplastamiento	3.003	183.620	1.64	Punzonamiento	29.428	219.639	13.40		
6	Sección transversal	3.063	64.340	4.76	Vástago	29.428	90.432	32.54	23.24	32.54
	Aplastamiento	3.063	183.680	1.67	Punzonamiento	29.428	219.639	13.40		
7	Sección transversal	3.015	64.340	4.69	Vástago	40.581	90.432	44.87	32.05	44.87
	Aplastamiento	3.015	183.532	1.64	Punzonamiento	40.581	219.639	18.48		
8	Sección transversal	3.075	64.340	4.78	Vástago	40.581	90.432	44.87	32.05	44.87
	Aplastamiento	3.075	183.680	1.67	Punzonamiento	40.581	219.639	18.48		

Producido por una versión educativa de CYPE

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	789.63	8748.21
Calculada para momentos negativos	789.63	8742.50



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

1.39 ≤ 1.80 ✓

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

β : 1.39

Donde:

F_{T,Rd1}: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

F_{T,Rd1} : 251.98 kN

F_{T,Rd3}: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

F_{T,Rd3} : 180.86 kN

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$75.10 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 207.77 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{75.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{207.77} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rdj} d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.14 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{0.88} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{6.37} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{607} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.39}$$

4) Viga (c) IPE 330

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 306.20 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \underline{306.20} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{2025} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 35.80 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$$M_{c,Rd} : \underline{35.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

$$W_{pl} : \underline{136687.5} \text{ mm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$$

siendo

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 153.10 \text{ kN}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$86.99 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-44.70} \text{ N/mm}^2$$

τ_{yz} : Tensión tangencial yz

$$\tau_{yz} : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

τ_{xz} : Tensión tangencial xz

$$\tau_{xz} : \underline{-43.09} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd}$$

$$48.59 \text{ N/mm}^2 \leq 228.15 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$$\sigma_{c,Ed} : \underline{48.59} \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$$\sigma_{b,Rd} : \underline{228.15} \text{ N/mm}^2$$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

$$\chi : \underline{0.87}$$

f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$

$$f_{yd} : \underline{2.57} \text{ N/mm}^2$$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\phi : \underline{0.66}$$

α : Coeficiente de imperfección

$$\alpha : \underline{0.49}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{12 \cdot f_y}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.45}$$

Donde:

β : Coeficiente de pandeo

$$\beta : \underline{2.00}$$

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

$$L : \underline{45} \text{ mm}$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

E : Módulo de elasticidad

$$E : \underline{210000.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.49 \leq 1 \quad \checkmark$$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,l} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \underline{8.0} \text{ mm}$$

d : Diámetro del tornillo.

$$d : \underline{16} \text{ mm}$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$$

d_o : Diámetro del agujero.

$$d_o : \underline{18} \text{ mm}$$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,l}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	17.45	87.47
z	0.50	27.0	--	-23.27	52.48

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
<p>α: coeficiente igual al menor de los valores: $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0$</p> <p>$e_1$: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.</p>					

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

93.13 kN ≤ 239.52 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{93.13} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{239.52} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min \left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{1584.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Producido por una versión educativa de CYPE

- Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

0.51 ≤ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

t : Espesor de la chapa

$t : \underline{7.5} \text{ mm}$

d : Diámetro del tornillo.

$d : \underline{16} \text{ mm}$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$

d_0 : Diámetro del agujero.

$d_0 : \underline{18} \text{ mm}$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	1.00	112.5	--	-18.32	98.40
z	0.50	27.0	--	-23.27	49.20

α : coeficiente igual al menor de los valores:
 $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1, 0$
 e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.
 p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

93.13 kN ≤ 233.62 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{93.13} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{233.62} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{1545.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Producido por una versión educativa de CYPE

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	270	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	25.3	25.3	34.5	78.3	20.28	29.7	9.06	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

$$\text{- Para } e_1 \text{ y } e_2 \begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u : resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α : es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d_0 : diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s : área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p : espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m : menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

siendo

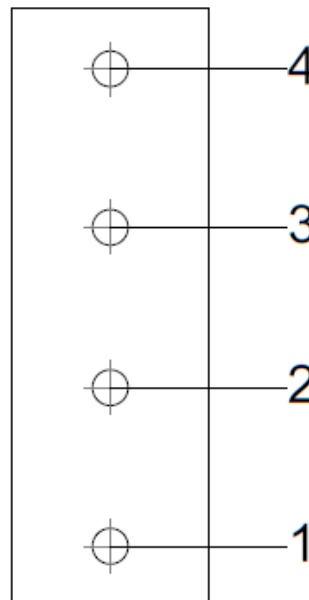
$F_{v,Ed}$: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.

Producido por una versión educativa de CYPE



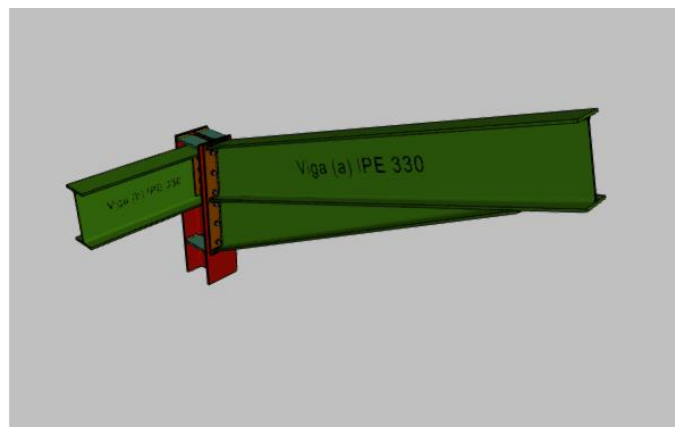
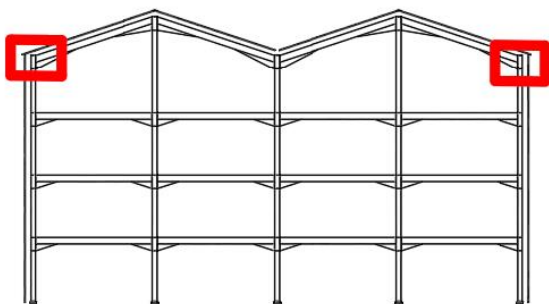
Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
4	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	29.084	50.240	57.89	Vástago	0.000	90.432	0.00	57.89	57.89
	Aplastamiento	29.084	59.823	48.62	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	23.983	50.240	47.74	Vástago	0.000	90.432	0.00	47.74	47.74
	Aplastamiento	23.231	90.066	25.79	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	24.209	50.240	48.19	Vástago	0.000	90.432	0.00	48.19	48.19
	Aplastamiento	24.209	103.242	23.45	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
4	Sección transversal	29.614	50.240	58.94	Vástago	0.000	90.432	0.00	58.94	58.94
	Aplastamiento	29.614	97.102	30.50	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

Alboko Zutabearen eta Teilatuko habearen arteko lotura

Alboko Zutabeak portikoaren teilatuko IPE 330 Habearen muturreko plaka jasotzen du hegalean eta M16-ko torlojuen bidez finkatu egiten da. Zutabearen ariman habetxo bat finkatzen da tailerrean aurretik soldatutako belarran, berriz ere M16-ko torloju bidez. Gainera lotura honek tailerrean soldatutako bi zurruntzaile daramatza.



3.56 Irudia – Alboko Zutabearen eta Teilatuko habearen arteko lotura

Comprobaciones

1) Pilar HE 240 A

- Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 70\varepsilon$$

$$27.47 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \underline{206} \text{ mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \underline{7.5} \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$

$$39.75 \text{ kN} \leq 719.32 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \underline{39.75} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \underline{719.32} \text{ kN}$$

Donde:

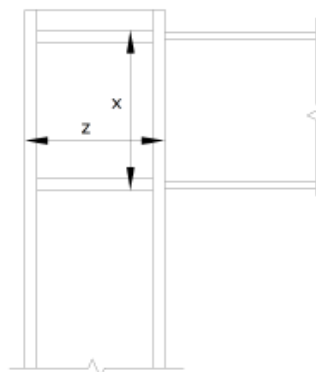
$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	1725	12.51	234.75	5.33
x	5286	39.75	719.32	5.53



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$5.69 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-5.32} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-4.29} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{67} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{1.17} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{1.32} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$8.30 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{8.25} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{7.85} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{79} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{0.51} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{0.58} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{94} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

6.91 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ : Tensión normal

σ : -6.61 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

F_{\perp} : -5.33 kN

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

L_{\perp} : 67 mm

τ : Tensión tangencial

τ : 1.17 N/mm²

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

F_{\parallel} : 1.32 kN

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

L_{\parallel} : 94 mm

t : Espesor

t : 12.0 mm

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

7.18 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ : Tensión normal

σ : 7.16 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

F_{\perp} : 6.81 kN

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

L_{\perp} : 79 mm

τ : Tensión tangencial

τ : 0.31 N/mm²

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

F_{\parallel} : 0.35 kN

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

L_{\parallel} : 94 mm

t : Espesor

t : 12.0 mm

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Producido por una versión educativa de CYPE

– Comprobaciones por unión con elemento "

– Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

1.45 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal

σ : 0.00 N/mm²

τ: Tensión tangencial

τ : 0.84 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

16.71 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal

σ : 16.57 N/mm²

τ: Tensión tangencial

τ : 1.26 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 330'

– Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

6.54 kN ≤ 180.86 kN ✓

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

F_{T,Ed} : 6.54 kN

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

F_{T,Rd} : 180.86 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

F_{T,3,Rd} : 180.86 kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

F_{T,2,Rd} : 181.16 kN

Producido por una versión educativa de CYPE

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-ala y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,1,Rd} : \underline{236.97} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_r^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,1,Rd} : \underline{1.14} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_r^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,2,Rd} : \underline{1.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\Sigma F_{t,Rd}: \text{Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos} \quad \Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

$$t_r: \text{Espesor de la chapa} \quad t_r : \underline{12.0} \text{ mm}$$

$$m: \text{Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela} \quad m : \underline{19} \text{ mm}$$

$$n: \text{Igual } e_{min} \text{ pero } n \leq 1,25 \cdot m \quad n : \underline{24} \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{eff,1}: \text{Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.}^* \quad \Sigma l_{eff,1} : \underline{121} \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{eff,2}: \text{Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.}^* \quad \Sigma l_{eff,2} : \underline{185} \text{ mm}$$

$$f_y: \text{Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0}: \text{Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.} \quad \gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{er} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{er} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

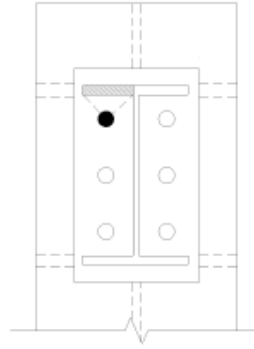
$$f_{yd}: \text{Resistencia de cálculo.} \quad f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

$$f_y: \text{Tensión de límite elástico.} \quad f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0}: \text{Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.} \quad \gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1002	1.35	262.47	0.51
Σ		1.35	262.47	0.51



–Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$6.54 \text{ kN} \leq 130.65 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{6.54} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{130.65} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{499.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 330'

–Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$9.95 \text{ kN} \leq 820.66 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{9.95} \text{ kN}$$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$

$$N_{Rd} : \underline{820.66} \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

Producido por una versión educativa de CYPE

A_v : Área sometida a cortante	A_v : <u>4170</u> mm ²
$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$	
t : Espesor del elemento en la superficie de unión	t : <u>7.5</u> mm
t_p : Espesor del elemento de unión	t_p : <u>8.0</u> mm
h_p : Altura del elemento de unión	h_p : <u>270</u> mm
f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.	f_u : <u>410.00</u> N/mm ²
γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	γ_{M2} : <u>1.25</u>

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$9.95 \text{ kN} \leq 82.49 \text{ kN} \quad \checkmark$$

N_{Ed}: Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{9.95} \text{ kN}$$

N_{Rd}: Resistencia de cálculo del alma a flexión

$$N_{Rd} : \underline{82.49} \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2\mu + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{2 \cdot (1-\beta) \cdot \gamma_{M5}} + \frac{8 W_{pl} f_y}{(h_{lw} - t_p) \gamma_{M5}}$$

Donde:

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.5} \text{ mm}$$

k_m: Coeficiente de interacción

$$k_m : \underline{1.00}$$

$$\mu = \frac{h_p}{h_{lw}}$$

$$\mu : \underline{1.57}$$

h_p: Altura del elemento de unión

$$h_p : \underline{270} \text{ mm}$$

h_{lw}: Canto del alma entre radios de acuerdo

$$h_{lw} : \underline{172} \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{t_p}{h_{lw}} \leq 0.2$$

$$\beta : \underline{0.05}$$

t_p: Espesor del elemento de unión

$$t_p : \underline{8.0} \text{ mm}$$

W_{pl}: Modulo plástico resistente

$$W_{pl} : \underline{1898} \text{ mm}^3$$

$$W_{pl} = \frac{I_{ch} \cdot t_w^2}{4}$$

I_{ch}: Longitud de la línea de charnela

$$I_{ch} : \underline{135} \text{ mm}$$

$$I_{ch} = \frac{h_p}{2}$$

f_y: Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M5}: Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular.

$$\gamma_{M5} : \underline{1.00}$$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	94	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	3	164	7.5	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ _∥ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	3.8	3.8	1.2	7.8	2.02	3.8	1.15	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	4.4	7.6	1.97	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	5.8	5.8	0.5	11.7	3.03	5.8	1.78	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	8.0	13.8	3.58	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	4.7	4.7	1.2	9.6	2.48	4.7	1.42	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	5.4	9.3	2.42	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	5.1	5.1	0.3	10.1	2.63	5.1	1.54	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	6.9	12.0	3.11	0.0	0.00	410.0	0.85

Producido por una versión educativa de CYPE

2) Viga (a) IPE 330

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

6.54 kN ≤ 156.41 kN ✓

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

F_{T,Ed} : 6.54 kN

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

F_{T,Rd} : 156.41 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

F_{T,3,Rd} : 180.86 kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

F_{T,2,Rd} : 156.41 kN

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

F_{T,1,Rd} : 236.97 kN

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

F_{T,Rd} : 156.41 kN

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_r^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{1.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_r^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{2.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_r : Espesor de la chapa

$$t_r : \underline{12.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{32} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{40} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{200} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma l_{eff,2} : \underline{212} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_r deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_r para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

-Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$17.76 \text{ kN} \leq 541.30 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{17.76} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{541.30} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{2067} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

ρ : Factor de reducción

$$\rho : \underline{0.000}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

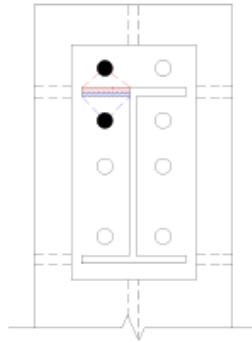
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	920	0.73	240.95	0.30
Inferior	920	1.02	240.95	0.42
Σ		1.75	240.95	0.73



Producido por una versión educativa de CYPE

-Alma

Cargas Concentradas (CTE DB SE A, 6.3.3.5)

No es necesario rigidizar el alma de una pieza sometida a cargas concentradas actuando sobre las alas si se cumple que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad (6.42) \quad \mathbf{0.01 \leq 1 \checkmark}$$

Donde:

F_{Ed} : Valor de cálculo de la carga concentrada,

$$F_{Ed} : \underline{2.33} \text{ kN}$$

$F_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas.

$$F_{b,Rd} : \underline{268.58} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_{yw} \cdot t_w \cdot L_{ef}}{\gamma_{M1}} \quad (6.43)$$

Donde:

$$L_{ef} = \chi_f \cdot \ell_y \quad (6.44)$$

$$L_{ef} : \underline{137.00} \text{ mm}$$

$$\chi_f = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_f} \leq 1 \quad (6.45)$$

$$\chi_f : \underline{1.00}$$

$$\bar{\lambda}_f = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} \quad (6.46)$$

$$\bar{\lambda}_f : \underline{0.45}$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{d} \quad (6.47) \quad F_{cr} : \underline{1561.39} \text{ kN}$$

Los valores de l_y y de k_F dependen del caso considerado, de entre los representados en la figura 6.6:

- Caso a): carga (o reacción) aplicada a un ala y equilibrada por cortantes en el alma.

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{d}{a} \right)^2 \quad k_F : \underline{6.01}$$

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \leq a \quad l_y : \underline{137}$$

viniedo cada coeficiente dado por las expresiones:

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w} \quad m_1 : \underline{21.33}$$

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 \left(\frac{d}{t_f} \right) & \text{si } \bar{\lambda}_F > 0,5 \text{ (cabe aproximar } \bar{\lambda}_F \text{ con la} \\ & \text{obtenida usando } m_2=0 \text{ para} \\ 0 & \text{si } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \text{ aproximar } l_y) \end{cases} \quad m_2 : \underline{0.00}$$

Donde:

s_s : Longitud de la entrega rígida de la carga.	s_s : <u>8</u> mm
t_w : Espesor del alma.	t_w : <u>8</u> mm
t_f : Espesor del ala.	t_f : <u>12</u> mm
f_{yw} : Tensión de límite elástico del alma.	f_{yw} : <u>275.00</u> N/mm ²
f_{yf} : Tensión de límite elástico del ala.	f_{yf} : <u>275.00</u> N/mm ²
E : Módulo de elasticidad.	E : <u>210000.0</u> N/mm ²
d : distancia entre alas	d : <u>307</u> mm

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad 5.10 \text{ kN} \leq 216.09 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.	N_{Ed} : <u>5.10</u> kN
$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.	$N_{t,Rd}$: <u>216.09</u> kN

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción	A : <u>825.00</u> mm ²
f_{yd} : Resistencia de cálculo.	f_{yd} : <u>261.90</u> N/mm ²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.	f_y : <u>275.00</u> N/mm ²
-------------------------------------	---

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	γ_{M0} : <u>1.05</u>
---	-----------------------------

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de

espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si a > 120° ⇒ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si a < 60° ⇒ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \tag{8.23}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	11.5	71.74
Soldadura del alma	En ángulo	4	285	7.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	11.5	71.74
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	4	325	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	6	160	11.5	62.91
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	5	2000	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	8	160	11.5	81.17

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	3.9	5.5	0.8	10.3	2.68	5.7	1.75	410.0	0.85
Soldadura del alma	4.4	4.4	2.9	10.1	2.62	4.4	1.34	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	2.4	1.7	0.6	3.9	1.02	2.4	0.72	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	4.7	4.7	3.3	10.9	2.82	4.8	1.47	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	4.5	7.4	0.3	13.6	3.52	7.1	2.16	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.1	0.1	2.3	4.0	1.03	0.1	0.03	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

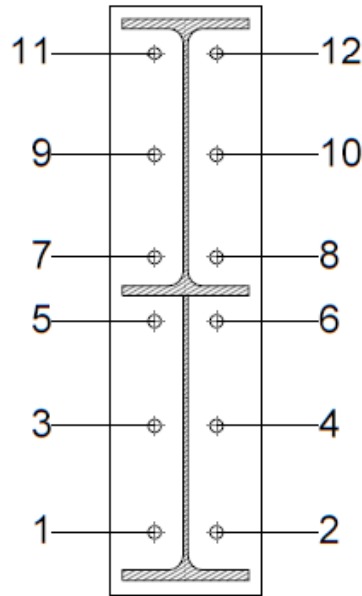
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

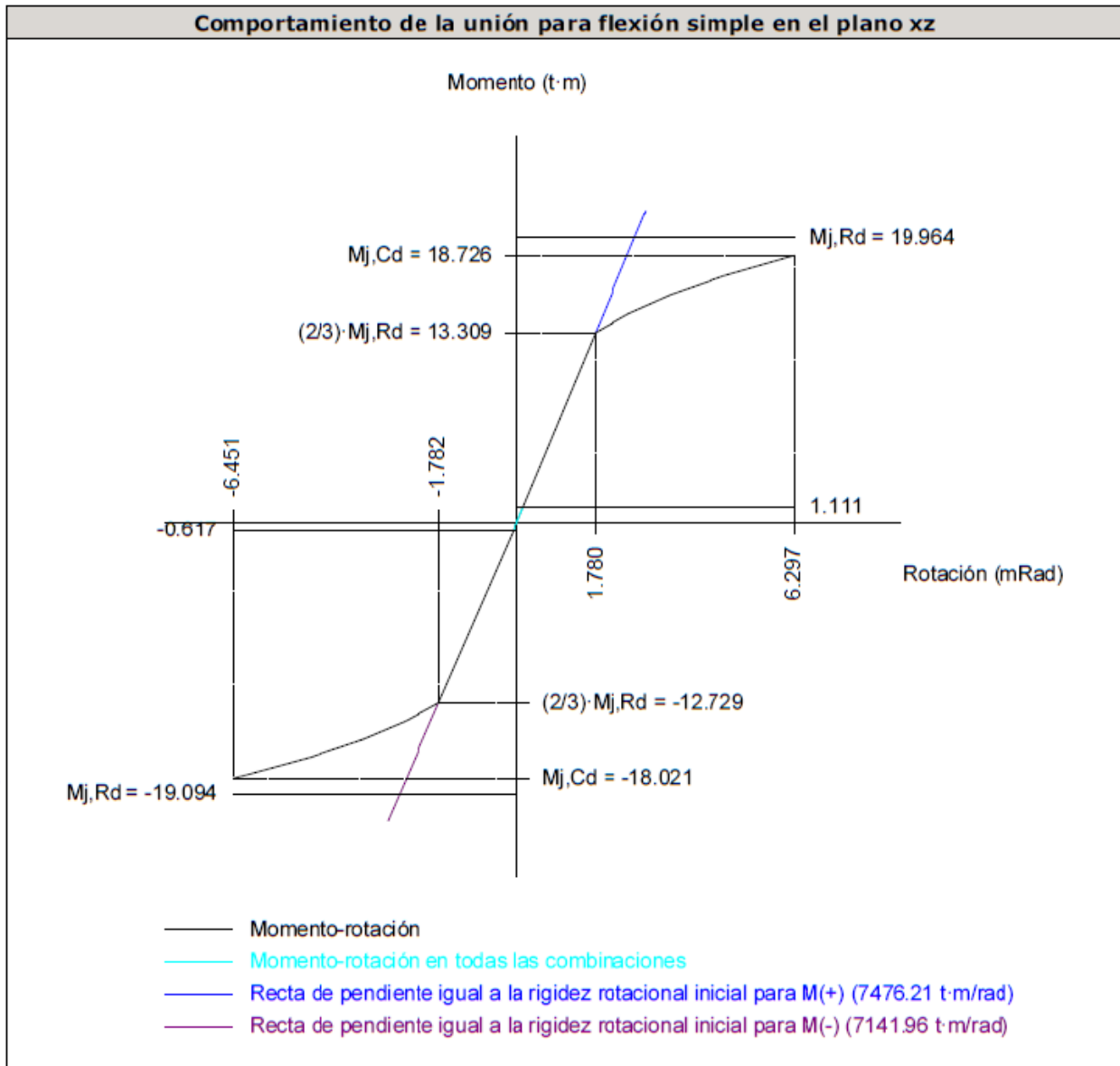
Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	133	80	36.0
2	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	133	80	36.0
3	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	133	80	36.0
4	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	133	80	36.0
5	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	80	80	32.0
6	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	80	80	32.0
7	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	80	80	35.8
8	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	80	80	35.8
9	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	128	80	36.0
10	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	128	80	36.0
11	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	128	80	32.0
12	ISO 4017-M16x50-8.8	18.0	--	55	128	80	32.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	7.485	50.240	14.90	Vástago	3.780	90.432	4.18	14.90	14.90
	Aplastamiento	7.485	157.440	4.75	Punzonamiento	3.780	188.262	2.01		
2	Sección transversal	7.485	50.240	14.90	Vástago	3.599	90.432	3.98	14.90	14.90
	Aplastamiento	7.485	157.440	4.75	Punzonamiento	3.599	188.262	1.91		
3	Sección transversal	1.963	50.240	3.91	Vástago	3.402	90.432	3.76	4.60	4.60
	Aplastamiento	1.963	157.440	1.25	Punzonamiento	3.402	188.262	1.81		
4	Sección transversal	1.963	50.240	3.91	Vástago	3.194	90.432	3.53	4.59	4.59
	Aplastamiento	1.963	157.440	1.25	Punzonamiento	3.194	188.262	1.70		
5	Sección transversal	1.496	50.240	2.98	Vástago	2.234	90.432	2.47	3.73	3.73
	Aplastamiento	1.496	157.440	0.95	Punzonamiento	2.234	188.262	1.19		
6	Sección transversal	1.555	50.240	3.10	Vástago	2.043	90.432	2.26	3.82	3.82
	Aplastamiento	1.555	157.440	0.99	Punzonamiento	2.043	188.262	1.09		
7	Sección transversal	1.509	50.240	3.00	Vástago	2.014	90.432	2.23	4.05	4.05
	Aplastamiento	1.509	157.440	0.96	Punzonamiento	2.014	188.262	1.07		
8	Sección transversal	1.568	50.240	3.12	Vástago	2.142	90.432	2.37	4.16	4.16
	Aplastamiento	1.568	157.440	1.00	Punzonamiento	2.142	188.262	1.14		
9	Sección transversal	1.536	50.240	3.06	Vástago	3.113	90.432	3.44	4.86	4.86
	Aplastamiento	1.536	157.440	0.98	Punzonamiento	3.113	188.262	1.65		
10	Sección transversal	1.593	50.240	3.17	Vástago	3.250	90.432	3.59	5.04	5.04
	Aplastamiento	1.593	157.440	1.01	Punzonamiento	3.250	188.262	1.73		
11	Sección transversal	1.567	50.240	3.12	Vástago	3.311	90.432	3.66	5.04	5.04
	Aplastamiento	1.567	157.440	1.00	Punzonamiento	3.311	188.262	1.76		
12	Sección transversal	1.624	50.240	3.23	Vástago	3.423	90.432	3.78	5.22	5.22
	Aplastamiento	1.624	157.440	1.03	Punzonamiento	3.423	188.262	1.82		

Producido por una versión educativa de CYPE

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	864.52	7476.21
Calculada para momentos negativos	864.52	7141.96



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.31 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.31}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \underline{236.97} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$10.90 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 195.84 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{10.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{195.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rdj} \cdot d_j)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.02 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{0.15} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{6.30} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{655} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.31}$$

3) Viga (b) IPE 330

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$ que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 306.20 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \underline{306.20} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{2025} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 35.80 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$$M_{c,Rd} : \underline{35.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$W_{pl} : \underline{136687.5} \text{ mm}^3$$

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$$

siendo

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 153.10 \text{ kN}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$5.73 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{5.51} \text{ N/mm}^2$$

τ_{yz} : Tensión tangencial yz

$$\tau_{yz} : \underline{0.00} \text{ N/mm}^2$$

τ_{xz} : Tensión tangencial xz

$$\tau_{xz} : \underline{-0.90} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd}$$

$$4.47 \text{ N/mm}^2 \leq 228.15 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$$\sigma_{c,Ed} : \underline{4.47} \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$$\sigma_{b,Rd} : \underline{228.15} \text{ N/mm}^2$$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado

$\chi : \underline{0.87}$

f_{vd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{vd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$

$f_{vd} : \underline{2.57} \text{ N/mm}^2$

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$\phi : \underline{0.66}$

α : Coeficiente de imperfección

$\alpha : \underline{0.49}$

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{12 \cdot f_y}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{0.45}$

Donde:

β : Coeficiente de pandeo

$\beta : \underline{2.00}$

L : Longitud hasta la primera columna de tornillos

$L : \underline{45} \text{ mm}$

t : Espesor de la chapa

$t : \underline{8.0} \text{ mm}$

E : Módulo de elasticidad

$E : \underline{210000.00} \text{ N/mm}^2$

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$0.03 \leq 1 \checkmark$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

t : Espesor de la chapa

$t : \underline{8.0} \text{ mm}$

d : Diámetro del tornillo.

$d : \underline{16} \text{ mm}$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$f_{ub} : \underline{800.00} \text{ N/mm}^2$

d_0 : Diámetro del agujero.

$d_0 : \underline{18} \text{ mm}$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	2.85	87.47
z	0.50	27.0	--	-0.49	52.48

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
α : coeficiente igual al menor de los valores: $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$ e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.					

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

$$10.14 \text{ kN} \leq 239.52 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \frac{10.14}{1} \text{ kN}$$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$$N_{ef,Rd} : \frac{239.52}{1} \text{ kN}$$

$$N_{ef,Rd} = \min \left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$$A_n : \frac{1584.00}{1} \text{ mm}^2$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

f_u : Tensión de rotura.

$$f_u : \frac{410.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \frac{1.25}{1}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{1}$$

-Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.05 \leq 1 \quad \checkmark$$

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

$$f_u : \frac{410.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

t : Espesor de la chapa

$$t : \frac{7.5}{1} \text{ mm}$$

d : Diámetro del tornillo.

$$d : \frac{16}{1} \text{ mm}$$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$$\gamma_{M2} : \frac{1.25}{1}$$

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

$$f_{ub} : \frac{800.00}{1} \text{ N/mm}^2$$

d_0 : Diámetro del agujero.

$$d_0 : \frac{18}{1} \text{ mm}$$

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{D,Rd,i}$ (kN)
y	0.65	35.0	--	2.85	63.78
z	1.00	317.2	72.0	-0.49	98.40

α : coeficiente igual al menor de los valores:
 $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$
 e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.
 p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

10.14 kN ≤ 317.72 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{10.14} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{317.72} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min \left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} \right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{2101.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

Producido por una versión educativa de CYPE

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	270	7.5	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	2.6	2.6	0.7	5.4	1.39	2.6	0.80	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

$$\text{- Para } e_1 \text{ y } e_2 \begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$ por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m : menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

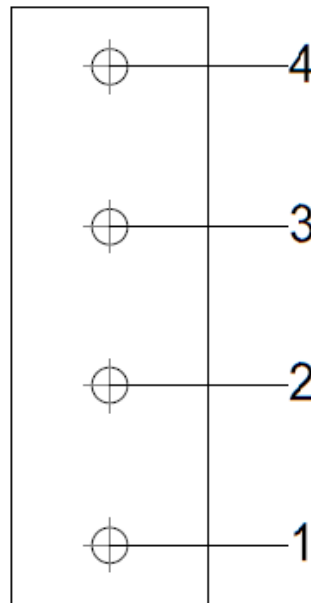
siendo

$F_{v,Ed}$: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

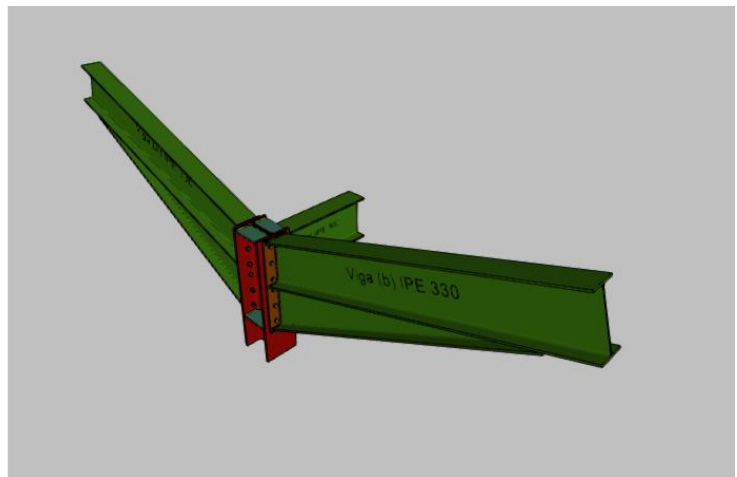
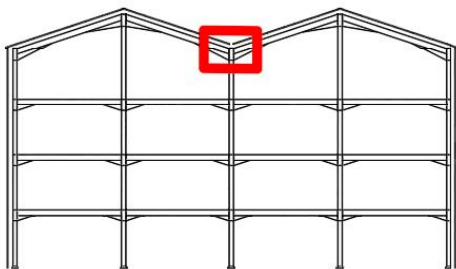
Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
4	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	2.895	50.240	5.76	Vástago	0.000	90.432	0.00	5.76	5.76
	Aplastamiento	2.895	85.337	3.39	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	2.654	50.240	5.28	Vástago	0.000	90.432	0.00	5.28	5.28
	Aplastamiento	2.654	87.922	3.02	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	2.433	50.240	4.84	Vástago	0.000	90.432	0.00	4.84	4.84
	Aplastamiento	2.433	87.656	2.78	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
4	Sección transversal	2.342	50.240	4.66	Vástago	0.000	90.432	0.00	4.66	4.66
	Aplastamiento	2.342	88.053	2.66	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

Zutabe Zentralaren eta Teilatuko habeen arteko lotura

Zutabe Zentralak portikoaren teilatuko IPE 330 Habeen muturreko plakak jasotzen ditu hegaletan eta M16-ko torlojuen bidez finkatu egiten dira. Zutabearen ariman habetxo bat finkatzen da tailerrean aurretik soldatutako belarrian, berriz ere M16-ko torloju bidez. Gainera lotura honek tailerrean soldatutako bi zurruntzaile daramatza.



3.57 Irudia – Zutabe Zentralaren eta Teilatuko habeen arteko lotura

Comprobaciones

1) Pilar HE 260 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 70\varepsilon$$

$$22.50 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \underline{225} \text{ mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \underline{10.0} \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$

$$22.17 \text{ kN} \leq 959.09 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \underline{22.17} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \underline{959.09} \text{ kN}$$

Donde:

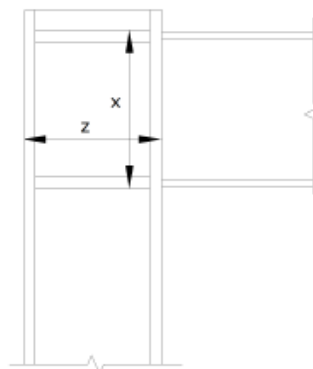
$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2600	7.76	353.83	2.19
x	7047	22.17	959.09	2.31



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$89.78 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{89.21} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{73.33} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{69} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{5.80} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{6.68} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$104.47 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{104.36} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{85.78} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{69} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{-2.84} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{-3.27} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

79.39 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ : Tensión normal

σ : -78.75 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

F_{\perp} : -77.96 kN

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

L_{\perp} : 83 mm

τ : Tensión tangencial

τ : 5.80 N/mm²

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

F_{\parallel} : 6.68 kN

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

L_{\parallel} : 96 mm

t : Espesor

t : 12.0 mm

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

77.09 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ : Tensión normal

σ : -76.93 N/mm²

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

F_{\perp} : -76.16 kN

L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

L_{\perp} : 83 mm

τ : Tensión tangencial

τ : -2.84 N/mm²

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

F_{\parallel} : -3.27 kN

L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

L_{\parallel} : 96 mm

t : Espesor

t : 12.0 mm

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Producido por una versión educativa de CYPE

- Comprobaciones por unión con elemento "
- Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

17.80 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal

σ : 17.41 N/mm²

τ: Tensión tangencial

τ : 2.13 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

7.63 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal

σ : 0.00 N/mm²

τ: Tensión tangencial

τ : 4.41 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

- Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 330'
- Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

58.56 kN ≤ 180.86 kN ✓

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

F_{T,Ed} : 58.56 kN

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

F_{T,Rd} : 180.86 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

F_{T,3,Rd} : 180.86 kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$$

F_{T,2,Rd} : 251.98 kN

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-ala y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,1,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_r^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,1,Rd} : \underline{2.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos $\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$
 t_r : Espesor de la chapa $t_r : \underline{17.5} \text{ mm}$
 m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela $m : \underline{20} \text{ mm}$
 $\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.* $\Sigma l_{eff,1} : \underline{124} \text{ mm}$
 f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual ΣL_w deberá tomarse igual a la longitud eficaz L_w para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.
 $N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

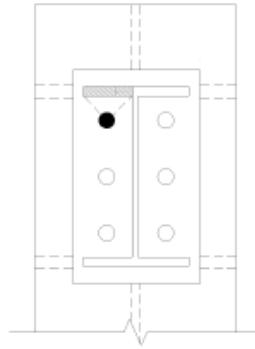
$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1050	11.82	275.08	4.30
Σ		11.82	275.08	4.30

Producido por una versión educativa de CYPE



– Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$58.56 \text{ kN} \leq 179.64 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{58.56} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{179.64} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{686.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 330'

– Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$58.56 \text{ kN} \leq 180.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{58.56} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,2,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,1,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,1,Rd} : \underline{2.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos $\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$
 t_f : Espesor de la chapa $t_f : \underline{17.5} \text{ mm}$
 m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela $m : \underline{20} \text{ mm}$
 $\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.* $\Sigma l_{eff,1} : \underline{124} \text{ mm}$
 f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_w para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

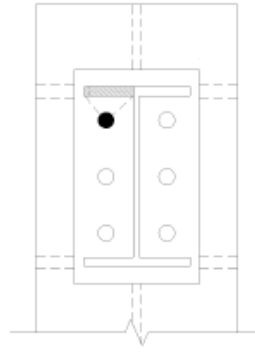
$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	--	--	--	--
Inferior	1050	11.82	275.08	4.30
Σ		11.82	275.08	4.30

Producido por una versión educativa de CYPE



– Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$58.56 \text{ kN} \leq 179.64 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{58.56} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{179.64} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{686.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (c) IPE 330'

– Alma

Punzonamiento (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$27.80 \text{ kN} \leq 1094.21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{27.80} \text{ kN}$$

N_{Rd} : Resistencia de cálculo a punzonamiento. Resistencia plástica a cortante en el perímetro de la chapa lateral, $V_{pl,Rd}$

$$N_{Rd} : \underline{1094.21} \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_u / \sqrt{3})}{\gamma_{M2}}$$

Donde:

A_v : Área sometida a cortante	A_v :	<u>5560</u> mm ²
$A_v = t \cdot (2t_p + 2h_p)$		
t : Espesor del elemento en la superficie de unión	t :	<u>10.0</u> mm
t_p : Espesor del elemento de unión	t_p :	<u>8.0</u> mm
h_p : Altura del elemento de unión	h_p :	<u>270</u> mm
f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.	f_u :	<u>410.00</u> N/mm ²
γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.	γ_{M2} :	<u>1.25</u>

Resistencia a flexión del alma (Criterio de CYPE, basado en Tabla 7.13 EN 1993-1-8: 2005)

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad \mathbf{27.80 \text{ kN} \leq 139.37 \text{ kN} \checkmark}$$

N_{Ed}: Esfuerzo de cálculo

$$N_{Ed} : \underline{27.80} \text{ kN}$$

N_{Rd}: Resistencia de cálculo del alma a flexión

$$N_{Rd} : \underline{139.37} \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{t_w^2 (2\mu + 4\sqrt{1-\beta}) k_m f_y}{2 \cdot (1-\beta) \cdot \gamma_{M5}} + \frac{8 W_{pl} f_y}{(h_{iw} - t_p) \gamma_{M5}}$$

Donde:

t_w: Espesor del alma. **t_w** : 10.0 mm

k_m: Coeficiente de interacción **k_m** : 1.00

$$\mu = \frac{h_p}{h_{iw}} \quad \mu : \underline{1.45}$$

h_p: Altura del elemento de unión **h_p** : 270 mm

h_{iw}: Canto del alma entre radios de acuerdo **h_{iw}** : 187 mm

$$\beta = \frac{t_p}{h_{iw}} \leq 0.2 \quad \beta : \underline{0.04}$$

t_p: Espesor del elemento de unión **t_p** : 8.0 mm

W_{pl}: Modulo plástico resistente **W_{pl}** : 3375 mm³

$$W_{pl} = \frac{l_{ch} \cdot t_w^2}{4}$$

l_{ch}: Longitud de la línea de charnela **l_{ch}** : 135 mm

$$l_{ch} = \frac{h_p}{2}$$

f_y: Tensión de límite elástico. **f_y** : 275.00 N/mm²

γ_{M5}: Coeficiente parcial de seguridad para la resistencia en las uniones entre piezas de sección tubular. **γ_{M5}** : 1.00

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00

a: Espesor garganta
 l: Longitud efectiva
 t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ _∥ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	63.1	63.1	5.8	126.6	32.80	63.1	19.23	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	1.9	3.3	0.84	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	73.8	73.8	2.8	147.7	38.27	73.8	22.50	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	3.2	5.5	1.42	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	55.7	55.7	5.8	111.8	28.98	55.7	16.98	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	2.1	3.7	0.95	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	54.4	54.4	2.8	108.9	28.22	54.4	16.59	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	2.9	5.1	1.31	0.0	0.00	410.0	0.85

Producido por una versión educativa de CYPE

2) Viga (b) IPE 330

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$57.31 \text{ kN} \leq 141.34 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{57.31} \text{ kN}$$

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{141.34} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{141.34} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{183.86} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en el grupo de filas: 1 y 2.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{141.34} \text{ kN}$$

Donde:

$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$	$M_{pl,1,Rd} : \underline{1.66} \text{ kN}\cdot\text{m}$
$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$	$M_{pl,2,Rd} : \underline{1.66} \text{ kN}\cdot\text{m}$
$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos	$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$
t_f : Espesor de la chapa	$t_f : \underline{14.0} \text{ mm}$
m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela	$m : \underline{36} \text{ mm}$
n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$	$n : \underline{45} \text{ mm}$
$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*	$\Sigma l_{eff,1} : \underline{129} \text{ mm}$
$\Sigma l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*	$\Sigma l_{eff,2} : \underline{129} \text{ mm}$
f_y : Tensión de límite elástico.	$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.	$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_r deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_r para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Producido por una versión educativa de CYPE

- Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \qquad \mathbf{99.35 \text{ kN} \leq 226.95 \text{ kN} \checkmark}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil. $N_{Ed} : \underline{99.35} \text{ kN}$
 $N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión. $N_{c,Rd} : \underline{226.95} \text{ kN}$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión $A : \underline{867} \text{ mm}^2$
 f'_y : Tensión de límite elástico reducida. $f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
 $f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$
 f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
 ρ : Factor de reducción $\rho : \underline{0.000}$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.
 $N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

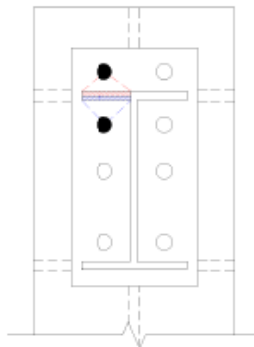
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	920	14.23	240.95	5.90
Inferior	915	16.50	239.63	6.89
Σ		30.73	240.24	12.79



Producido por una versión educativa de CYPE

- Alma

Cargas Concentradas (CTE DB SE A, 6.3.3.5)

No es necesario rigidizar el alma de una pieza sometida a cargas concentradas actuando sobre las alas si se cumple que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad (6.42)$$

$$0.01 \leq 1 \quad \checkmark$$

Donde:

F_{Ed} : Valor de cálculo de la carga concentrada,

$$F_{Ed} : \underline{2.73} \text{ kN}$$

$F_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas.

$$F_{b,Rd} : \underline{268.58} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_{yw} \cdot t_w \cdot L_{ef}}{\gamma_{M1}} \quad (6.43)$$

Donde:

$$L_{ef} = \chi_F \cdot \ell_y \quad (6.44)$$

$$L_{ef} : \underline{137.00} \text{ mm}$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1 \quad (6.45)$$

$$\chi_F : \underline{1.00}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} \quad (6.46)$$

$$\bar{\lambda}_F : \underline{0.45}$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{d} \quad (6.47)$$

$$F_{cr} : \underline{1561.39} \text{ kN}$$

Los valores de l_y y de k_F dependen del caso considerado, de entre los representados en la figura 6.6:

- Caso a): carga (o reacción) aplicada a un ala y equilibrada por cortantes en el alma.

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{d}{a} \right)^2$$

$$k_F : \underline{6.01}$$

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_r \cdot (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \leq a$$

$$l_y : \underline{137}$$

viniendo cada coeficiente dado por las expresiones:

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w}$$

$$m_1 : \underline{21.33}$$

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 \left(\frac{d}{t_r} \right) & \text{si } \bar{\lambda}_F > 0,5 \text{ (cabe aproximar } \bar{\lambda}_F \text{ con la} \\ 0 & \text{si } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \text{ obtenida usando } m_2=0 \text{ para} \\ & \text{aproximar } l_y) \end{cases}$$

$$m_2 : \underline{0.00}$$

Donde:

s_s : Longitud de la entrega rígida de la carga.

$$s_s : \underline{8} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8} \text{ mm}$$

t_r : Espesor del ala.

$$t_r : \underline{12} \text{ mm}$$

f_{yw} : Tensión de límite elástico del alma.

$$f_{yw} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{yb} : Tensión de límite elástico del ala.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.0} \text{ N/mm}^2$$

d : distancia entre alas

$$d : \underline{307} \text{ mm}$$

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$57.31 \text{ kN} \leq 245.01 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{57.31} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{245.01} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{935.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de

espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si a > 120° ⇒ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si a < 60° ⇒ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	11.5	71.74
Soldadura del alma	En ángulo	4	285	7.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	11.5	71.74
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	4	325	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	6	160	11.5	62.91
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	5	2000	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	8	160	11.5	81.17

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	104.8	145.0	7.2	272.5	70.61	145.3	44.29	410.0	0.85
Soldadura del alma	38.4	38.4	1.3	76.8	19.90	38.4	11.70	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	38.4	27.8	1.4	61.6	15.97	38.4	11.71	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	39.3	39.3	2.9	78.7	20.40	39.3	11.98	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	94.6	154.6	4.7	284.1	73.63	154.3	47.05	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	2.4	4.2	1.09	0.2	0.05	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

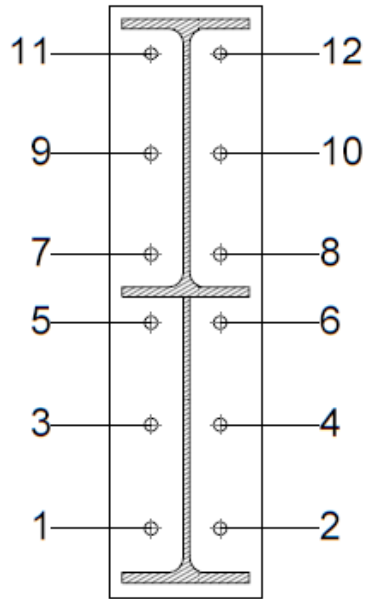
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

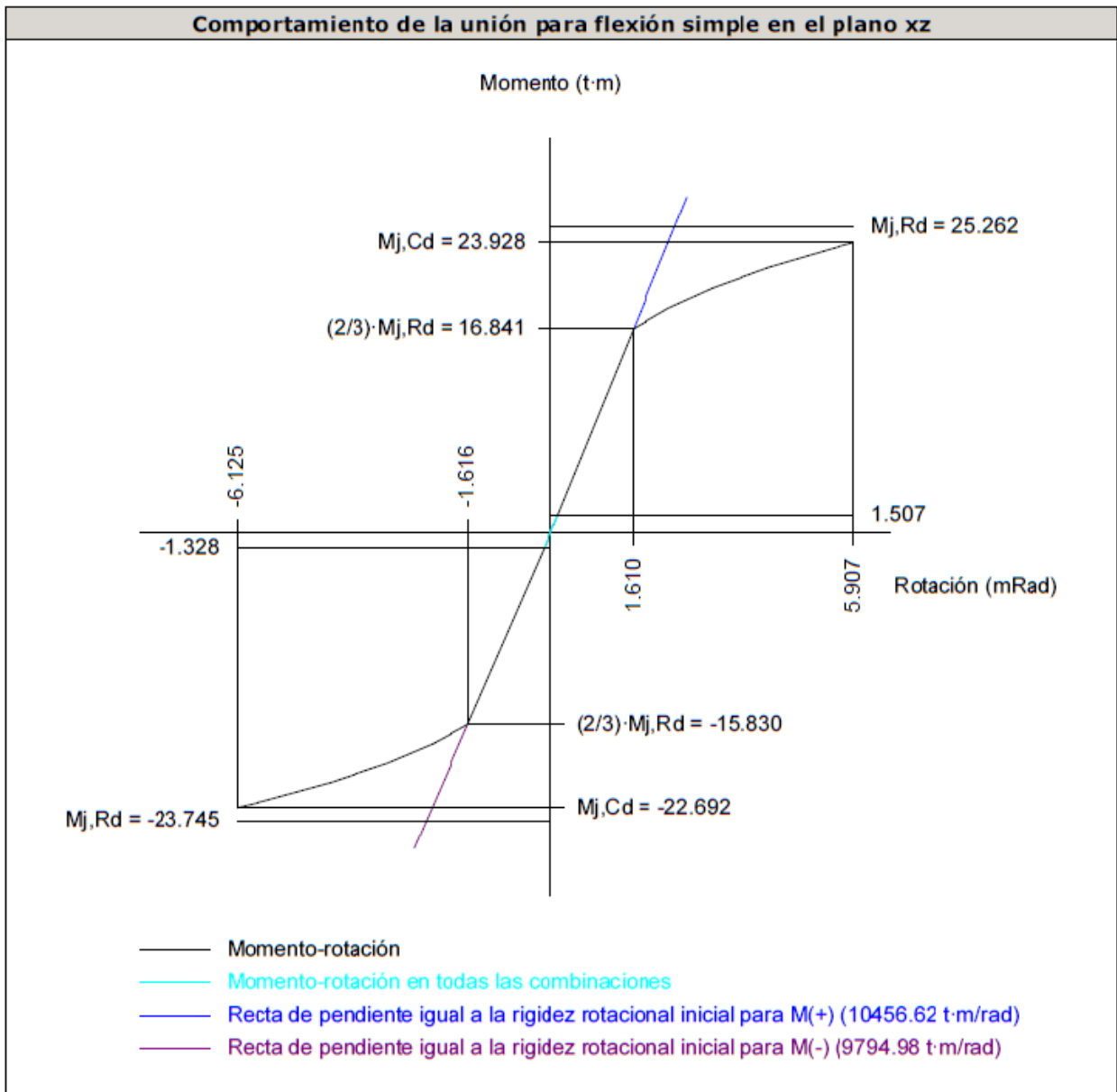
Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	129	88	39.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	129	88	39.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	129	88	39.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	129	88	39.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	85	88	32.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	85	88	32.0
7	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	85	88	39.0
8	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	85	88	39.0
9	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	125	88	39.0
10	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	125	88	39.0
11	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	125	88	32.0
12	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	125	88	32.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tomillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	8.775	64.340	13.64	Vástago	31.178	90.432	34.48	30.73	34.48
	Aplastamiento	8.775	183.680	4.78	Punzonamiento	31.178	219.639	14.20		
2	Sección transversal	8.775	64.340	13.64	Vástago	22.438	90.432	24.81	22.09	24.81
	Aplastamiento	8.775	183.680	4.78	Punzonamiento	22.438	219.639	10.22		
3	Sección transversal	2.483	64.340	3.86	Vástago	36.668	90.432	40.55	32.82	40.55
	Aplastamiento	2.483	183.680	1.35	Punzonamiento	36.668	219.639	16.69		
4	Sección transversal	1.836	64.340	2.85	Vástago	26.343	90.432	29.13	23.43	29.13
	Aplastamiento	1.836	174.353	1.05	Punzonamiento	26.343	219.639	11.99		
5	Sección transversal	1.763	64.340	2.74	Vástago	32.183	90.432	35.59	28.16	35.59
	Aplastamiento	1.763	183.679	0.96	Punzonamiento	32.183	219.639	14.65		
6	Sección transversal	1.060	64.340	1.65	Vástago	23.078	90.432	25.52	19.88	25.52
	Aplastamiento	1.060	183.680	0.58	Punzonamiento	23.078	219.639	10.51		
7	Sección transversal	2.119	64.340	3.29	Vástago	28.498	90.432	31.51	25.80	31.51
	Aplastamiento	2.119	180.353	1.17	Punzonamiento	28.498	219.639	12.97		
8	Sección transversal	1.345	64.340	2.09	Vástago	20.409	90.432	22.57	18.21	22.57
	Aplastamiento	1.345	179.602	0.75	Punzonamiento	20.409	219.639	9.29		
9	Sección transversal	3.383	64.340	5.26	Vástago	35.099	90.432	38.81	32.79	38.81
	Aplastamiento	3.383	176.077	1.92	Punzonamiento	35.099	219.639	15.98		
10	Sección transversal	2.941	64.340	4.57	Vástago	25.157	90.432	27.82	23.31	27.82
	Aplastamiento	2.941	183.680	1.60	Punzonamiento	25.157	219.639	11.45		
11	Sección transversal	4.927	64.340	7.66	Vástago	31.114	90.432	34.41	31.94	34.41
	Aplastamiento	4.927	174.688	2.82	Punzonamiento	31.114	219.639	14.17		
12	Sección transversal	4.635	64.340	7.20	Vástago	22.351	90.432	24.72	22.88	24.72
	Aplastamiento	4.635	183.680	2.52	Punzonamiento	22.351	219.639	10.18		

Producido por una versión educativa de CYPE

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	1027.91	10456.62
Calculada para momentos negativos	1027.91	9794.98



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8 \qquad \qquad \qquad 1.39 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}} \qquad \qquad \qquad \beta : \underline{1.39}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 $F_{T,Rd1}$: 251.98 kN
 $F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3 $F_{T,Rd3}$: 180.86 kN

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$14.78 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 247.82 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{14.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{247.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} \cdot d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.02 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{0.14} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{5.91} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{655} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.39}$$

3) Viga (a) IPE 330

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$57.31 \text{ kN} \leq 141.34 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{57.31} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{141.34} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{141.34} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

Producido por una versión educativa de CYPE

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{183.86} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en el grupo de filas: 1 y 2.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{141.34} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_r^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{1.66} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} \cdot t_r^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{1.66} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_r : Espesor de la chapa

$$t_r : \underline{14.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{36} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{45} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{129} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma l_{eff,2} : \underline{129} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_r deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_r para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Producido por una versión educativa de CYPE

-Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$99.35 \text{ kN} \leq 226.95 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{99.35} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{226.95} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{867} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

ρ : Factor de reducción

$$\rho : \underline{0.000}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

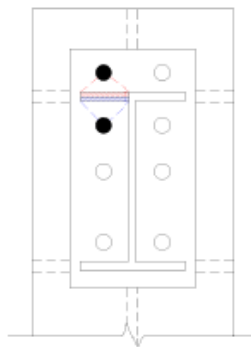
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	920	14.23	240.95	5.90
Inferior	915	16.50	239.63	6.89
Σ		30.73	240.24	12.79



Producido por una versión educativa de CYPE

- Alma

Cargas Concentradas (CTE DB SE A, 6.3.3.5)

No es necesario rigidizar el alma de una pieza sometida a cargas concentradas actuando sobre las alas si se cumple que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad (6.42)$$

$$0.01 \leq 1 \quad \checkmark$$

Donde:

F_{Ed} : Valor de cálculo de la carga concentrada,

$$F_{Ed} : \underline{2.73} \text{ kN}$$

$F_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas.

$$F_{b,Rd} : \underline{268.58} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_{yw} \cdot t_w \cdot L_{ef}}{\gamma_{M1}} \quad (6.43)$$

Donde:

$$L_{ef} = \chi_F \cdot \ell_y \quad (6.44)$$

$$L_{ef} : \underline{137.00} \text{ mm}$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1 \quad (6.45)$$

$$\chi_F : \underline{1.00}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} \quad (6.46)$$

$$\bar{\lambda}_F : \underline{0.45}$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{d} \quad (6.47)$$

$$F_{cr} : \underline{1561.39} \text{ kN}$$

Los valores de ℓ_y y de k_F dependen del caso considerado, de entre los representados en la figura 6.6:

- Caso a): carga (o reacción) aplicada a un ala y equilibrada por cortantes en el alma.

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{d}{a} \right)^2$$

$$k_F : \underline{6.01}$$

$$\ell_y = s_s + 2 \cdot t_r \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) \leq a$$

$$\ell_y : \underline{137}$$

vieniendo cada coeficiente dado por las expresiones:

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w}$$

$$m_1 : \underline{21.33}$$

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 \left(\frac{d}{t_r} \right) & \text{si } \bar{\lambda}_F > 0,5 \text{ (cabe aproximar } \bar{\lambda}_F \text{ con la} \\ 0 & \text{si } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \text{ aproximar } \ell_y \text{)} \end{cases}$$

$$m_2 : \underline{0.00}$$

Donde:

s_s : Longitud de la entrega rígida de la carga.

$$s_s : \underline{8} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8} \text{ mm}$$

t_r : Espesor del ala.

$$t_r : \underline{12} \text{ mm}$$

f_{yw} : Tensión de límite elástico del alma.

$$f_{yw} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{yb} : Tensión de límite elástico del ala.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.0} \text{ N/mm}^2$$

d : distancia entre alas

$$d : \underline{307} \text{ mm}$$

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$57.31 \text{ kN} \leq 245.01 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{57.31} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{245.01} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{935.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas						
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)	
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	11.5	71.74	
Soldadura del alma	En ángulo	4	285	7.5	90.00	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	11.5	71.74	
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	4	325	7.5	90.00	
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	6	160	11.5	62.91	
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	5	2000	7.5	90.00	
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	8	160	11.5	81.17	

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	104.8	145.0	7.2	272.5	70.61	145.3	44.29	410.0	0.85
Soldadura del alma	38.4	38.4	1.3	76.8	19.90	38.4	11.70	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	38.4	27.8	1.4	61.6	15.97	38.4	11.71	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	39.3	39.3	2.9	78.7	20.40	39.3	11.98	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	94.6	154.6	4.7	284.1	73.63	154.3	47.05	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	2.4	4.2	1.09	0.2	0.05	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

- 2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

- 3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_u A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

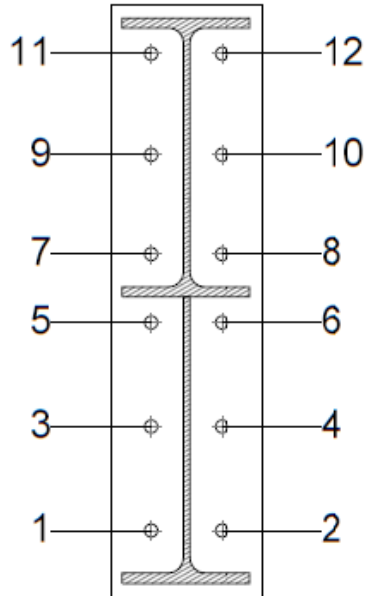
siendo

$F_{v,Ed}$: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerzo axil de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

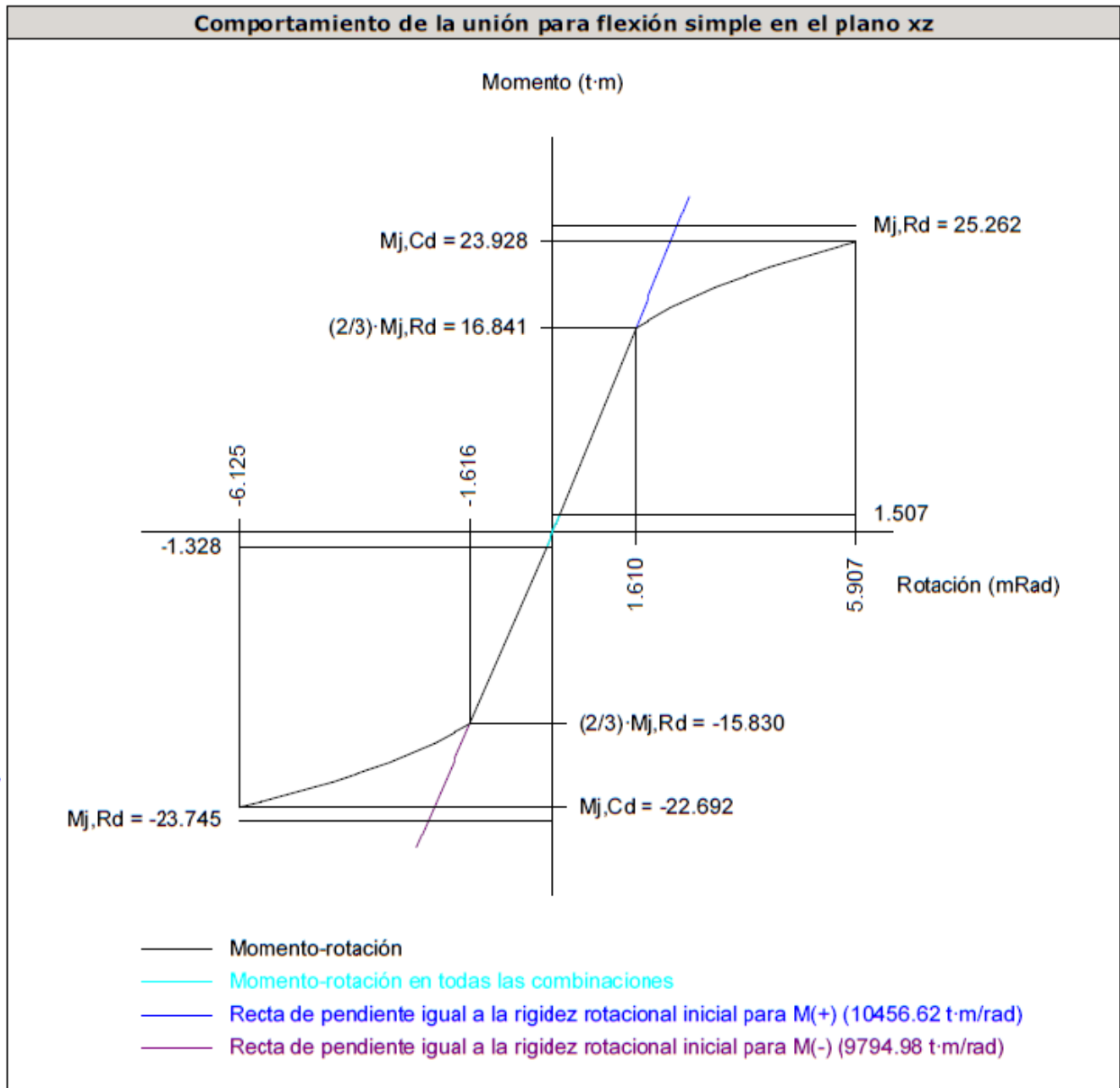
Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	129	88	39.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	129	88	39.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	129	88	39.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	129	88	39.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	85	88	32.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	85	88	32.0
7	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	85	88	39.0
8	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	85	88	39.0
9	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	125	88	39.0
10	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	125	88	39.0
11	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	125	88	32.0
12	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	125	88	32.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tomillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	8.775	64.340	13.64	Vástago	22.438	90.432	24.81	22.09	24.81
	Aplastamiento	8.775	183.680	4.78	Punzonamiento	22.438	219.639	10.22		
2	Sección transversal	8.775	64.340	13.64	Vástago	31.178	90.432	34.48	30.73	34.48
	Aplastamiento	8.775	183.680	4.78	Punzonamiento	31.178	219.639	14.20		
3	Sección transversal	1.836	64.340	2.85	Vástago	26.343	90.432	29.13	23.43	29.13
	Aplastamiento	1.836	174.353	1.05	Punzonamiento	26.343	219.639	11.99		
4	Sección transversal	2.483	64.340	3.86	Vástago	36.668	90.432	40.55	32.82	40.55
	Aplastamiento	2.483	183.680	1.35	Punzonamiento	36.668	219.639	16.69		
5	Sección transversal	1.060	64.340	1.65	Vástago	23.078	90.432	25.52	19.88	25.52
	Aplastamiento	1.060	183.680	0.58	Punzonamiento	23.078	219.639	10.51		
6	Sección transversal	1.763	64.340	2.74	Vástago	32.183	90.432	35.59	28.16	35.59
	Aplastamiento	1.763	183.679	0.96	Punzonamiento	32.183	219.639	14.65		
7	Sección transversal	1.345	64.340	2.09	Vástago	20.409	90.432	22.57	18.21	22.57
	Aplastamiento	1.345	179.602	0.75	Punzonamiento	20.409	219.639	9.29		
8	Sección transversal	2.119	64.340	3.29	Vástago	28.498	90.432	31.51	25.80	31.51
	Aplastamiento	2.119	180.353	1.17	Punzonamiento	28.498	219.639	12.97		
9	Sección transversal	2.941	64.340	4.57	Vástago	25.157	90.432	27.82	23.31	27.82
	Aplastamiento	2.941	183.680	1.60	Punzonamiento	25.157	219.639	11.45		
10	Sección transversal	3.383	64.340	5.26	Vástago	35.099	90.432	38.81	32.79	38.81
	Aplastamiento	3.383	176.077	1.92	Punzonamiento	35.099	219.639	15.98		
11	Sección transversal	4.635	64.340	7.20	Vástago	22.351	90.432	24.72	22.88	24.72
	Aplastamiento	4.635	183.680	2.52	Punzonamiento	22.351	219.639	10.18		
12	Sección transversal	4.927	64.340	7.66	Vástago	31.114	90.432	34.41	31.94	34.41
	Aplastamiento	4.927	174.688	2.82	Punzonamiento	31.114	219.639	14.17		

Producido por una versión educativa de CYPE

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	1027.91	10456.62
Calculada para momentos negativos	1027.91	9794.98



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.39 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.39}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{J,Rd}$$

$$14.78 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 247.82 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{14.78} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{J,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{J,Rd} : \underline{247.82} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{J,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} \cdot d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.02 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{0.14} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{5.91} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{655} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.39}$$

4) Viga (c) IPE 330

- Chapa lateral

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 306.20 \text{ kN} \quad \checkmark$$

V_{Ed} : Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{Ed} : \underline{0.10} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$

$$V_{c,Rd} : \underline{306.20} \text{ kN}$$

Donde:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad (6.4)$$

A_v : Área sometida a cortante

$$A_v : \underline{2025} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia de las secciones a flexión (CTE DB SE-A, 6.2.6)

Debe cumplirse:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0.01 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 35.80 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Valor de cálculo del momento flector.

$$M_{Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a flexión.

$$M_{c,Rd} : \underline{35.80} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

La resistencia de las secciones a flexión, $M_{c,Rd}$, será:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \quad (6.7)$$

siendo

W_{pl} : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión.

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$W_{pl} : \frac{136687.5}{\text{mm}^3}$$

$$f_{yd} : \frac{261.90}{\text{N/mm}^2}$$

Interacción de esfuerzos en secciones (CTE DB SE-A, 6.2.8)

Flexión y cortante:

La sección se comprobará a cortante según el apartado 6.2.4. Adicionalmente, si el cortante de cálculo es mayor que la mitad de la resistencia de la sección a cortante, se comprobará el momento flector de cálculo frente al resistente obtenido según:

$$M_{v,Rd} = W_{pl} \cdot (1 - \rho) \cdot f_{yd} \quad (6.12)$$

siendo

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (6.13)$$

En ningún caso podrá ser $M_{v,Rd} > M_{0,Rd}$

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.10 \text{ kN} \leq 153.10 \text{ kN}$$

No es necesario reducir el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Tensión de Von Mises en la chapa lateral (CTE DB SE-A, 6.1)

Para la comprobación del agotamiento de la chapa lateral se debe cumplir la siguiente expresión, donde σ , τ_{yz} y τ_{xz} son las tensiones del punto más desfavorable de la sección inicial:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3(\tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$13.86 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

σ : Tensión normal

$$\sigma : \frac{-13.77}{\text{N/mm}^2}$$

τ_{yz} : Tensión tangencial yz

$$\tau_{yz} : \frac{0.00}{\text{N/mm}^2}$$

τ_{xz} : Tensión tangencial xz

$$\tau_{xz} : \frac{-0.90}{\text{N/mm}^2}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \frac{275.00}{\text{N/mm}^2}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \frac{1.05}{}$$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

Debe cumplirse:

$$\sigma_{c,Ed} \leq \sigma_{b,Rd}$$

$$13.77 \text{ N/mm}^2 \leq 228.15 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

$\sigma_{c,Ed}$: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión.

$$\sigma_{c,Ed} : \frac{13.77}{\text{N/mm}^2}$$

$\sigma_{b,Rd}$: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

$$\sigma_{b,Rd} : \frac{228.15}{\text{N/mm}^2}$$

La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión se determinará del siguiente modo:

$$\sigma_{b,Rd} = \chi \cdot f_{yd}$$

Donde:

χ : coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado
 f_{yd} : resistencia de cálculo del acero, tomando $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$ con $\gamma_{M1} = 1.05$

χ : 0.87
 f_{yd} : 2.57 N/mm²

6.3.2.1 Barras de sección constante y axil constante

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

siendo

$$\phi = 0,5 [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

α : Coeficiente de imperfección

$$\bar{\lambda} = \frac{\beta \cdot L}{\pi \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{12 \cdot f_y}}}$$

Donde:

β : Coeficiente de pandeo
 L : Longitud hasta la primera columna de tornillos
 t : Espesor de la chapa
 E : Módulo de elasticidad

ϕ : 0.66

α : 0.49

$\bar{\lambda}$: 0.45

β : 2.00

L : 45 mm

t : 8.0 mm

E : 210000.00 N/mm²

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

0.08 ≤ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

t : Espesor de la chapa

d : Diámetro del tornillo.

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

d_o : Diámetro del agujero.

f_u : 410.00 N/mm²

t : 8.0 mm

d : 16 mm

γ_{M2} : 1.25

f_{ub} : 800.00 N/mm²

d_o : 18 mm

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.83	45.0	--	-7.32	87.47
z	1.00	243.0	72.0	-0.49	104.96

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
α : coeficiente igual al menor de los valores: $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$ e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite. p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.					

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

27.86 kN ≤ 239.52 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

N_{Ed} : 27.86 kN

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd}$: 239.52 kN

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

A_n : 1584.00 mm²

f_y : Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

f_u : Tensión de rotura.

f_u : 410.00 N/mm²

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

γ_{M2} : 1.25

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

-Alma

Resistencia a aplastamiento de un tornillo (CTE DB SE-A, 8.5.2)

El esfuerzo cortante solicitante del tornillo, $F_{v,Ed}$ no será mayor que la resistencia a aplastamiento de la pieza en la zona contigua al tornillo, $F_{b,Rd}$.

$$\sqrt{\left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,z}}{F_{b,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

0.08 ≤ 1 ✓

Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{b,Rd,i} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

siendo

f_u : resistencia a tracción del material de la pieza

f_u : 410.00 N/mm²

t : Espesor de la chapa

t : 7.5 mm

d : Diámetro del tornillo.

d : 16 mm

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

γ_{M2} : 1.25

f_{ub} : Tensión última a tracción del tornillo.

f_{ub} : 800.00 N/mm²

d_0 : Diámetro del agujero.

d_0 : 18 mm

Producido por una versión educativa de CYPE

Dirección	α	e_1 (mm)	p_1 (mm)	$F_{v,Ed}$ (kN)	$F_{b,Rd,i}$ (kN)
y	0.65	35.0	--	5.28	63.78
z	1.00	317.2	72.0	-0.49	98.40

α : coeficiente igual al menor de los valores:
 $\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$
 e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.
 p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

Resistencia a desgarro (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 8.5.2 (c))

Debe cumplirse:

$$N_{Ed} \leq N_{ef,Rd}$$

27.86 kN ≤ 317.72 kN ✓

Donde:

N_{Ed} : es el esfuerzo de cálculo

$N_{Ed} : \underline{27.86} \text{ kN}$

$N_{ef,Rd}$: es la resistencia al desgarro

$N_{ef,Rd} : \underline{317.72} \text{ kN}$

$$N_{ef,Rd} = \min\left(\frac{0,5 f_u A_n}{\gamma_{M2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}\right)$$

siendo

A_n : Área neta de la zona sometida a desgarro

$A_n : \underline{2101.00} \text{ mm}^2$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_u : Tensión de rotura.

$f_u : \underline{410.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M2} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.

$\gamma_{M2} : \underline{1.25}$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo local (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.3.2)

La comprobación no procede.

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

Producido por una versión educativa de CYPE

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas									
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)				
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	En ángulo	5	270	8.0	90.00				
<i>a: Espesor garganta</i> <i>l: Longitud efectiva</i> <i>t: Espesor de piezas</i>									
Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Detalle de la soldadura de la chapa lateral.	7.3	7.3	0.7	14.6	3.79	7.3	2.22	410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

$$- \text{Para } e_1 \text{ y } e_2 \begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm . siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.

- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm .

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u : resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α : es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e_1 : distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p_1 : separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d_0 : diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s : área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p : espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Sollicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

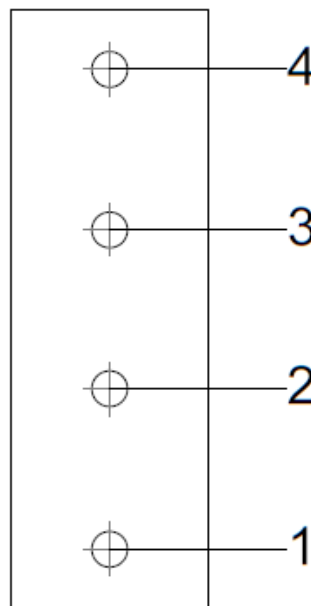
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axial de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

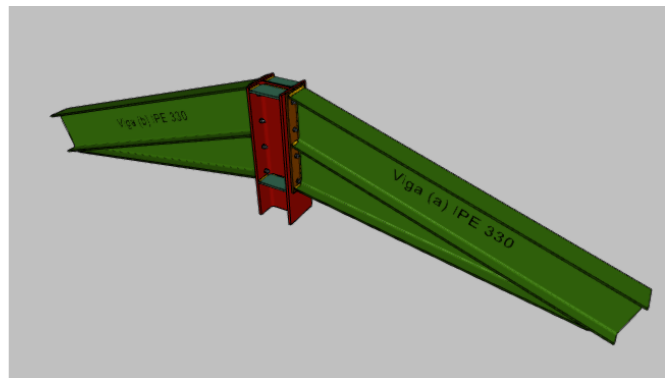
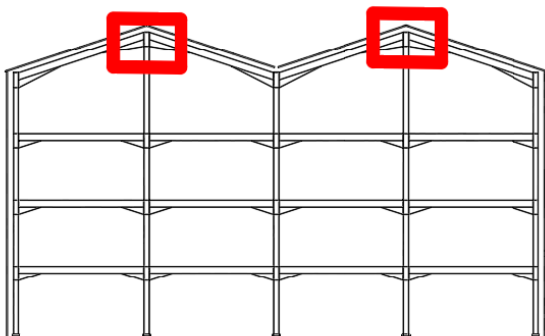
Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0
2	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
3	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	--	35	72	--	45.0
4	ISO 4017-M16x45-8.8	18.0	27	35	72	--	27.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tomillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	6.739	50.240	13.41	Vástago	0.000	90.432	0.00	13.41	13.41
	Aplastamiento	6.739	87.324	7.72	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
2	Sección transversal	6.883	50.240	13.70	Vástago	0.000	90.432	0.00	13.70	13.70
	Aplastamiento	6.883	87.490	7.87	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
3	Sección transversal	7.088	50.240	14.11	Vástago	0.000	90.432	0.00	14.11	14.11
	Aplastamiento	7.088	87.530	8.10	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		
4	Sección transversal	7.331	50.240	14.59	Vástago	0.000	90.432	0.00	14.59	14.59
	Aplastamiento	7.331	87.526	8.38	Punzonamiento	0.000	117.664	0.00		

Zutabe Zentralaren eta Teilatuko habeen arteko lotura

Zutabe Zentralak portikoaren teilatuko IPE 330 Habeen muturreko plakak jasotzen ditu hegaletan eta M16-ko torlojuen bidez finkatu egiten dira. Gainera lotura honek tailerlean soldatutako bi zurruntzaile daramatza.



3.58 Irudia – Teilatuko habeen eta Zutabearen arteko lotura

Comprobaciones

1) Pilar HE 260 B

– Panel

Esbeltez del alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.3.3.4.)

La esbeltez del alma del pilar debe satisfacer la condición:

$$\frac{d_{wc}}{t_{wc}} \leq 70\varepsilon$$

$$22.50 \leq 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

d_{wc} : Canto del alma

$$d_{wc} : \underline{225} \text{ mm}$$

t_{wc} : Espesor del alma.

$$t_{wc} : \underline{10.0} \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a cortante del alma del pilar (CTE DB SE-A 8.8.6)

Debe cumplirse:

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$

$$53.40 \text{ kN} \leq 912.46 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$V_{wp,Ed}$: Esfuerzo cortante de cálculo.

$$V_{wp,Ed} : \underline{53.40} \text{ kN}$$

$V_{wp,Rd}$: Resistencia plástica de cálculo a cortante del alma

$$V_{wp,Rd} : \underline{912.46} \text{ kN}$$

Donde:

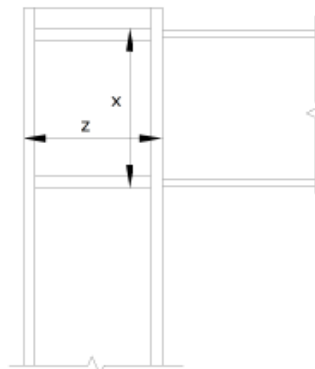
$$V_{wp,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

A_{vc} : Área sometida a cortante

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

Dirección	A_{vc} (mm ²)	$V_{wp,Ed}$ (kN)	$V_{wp,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
z	2600	19.66	353.83	5.56
x	6705	53.40	912.46	5.85



– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$54.67 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-54.53} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-44.83} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{69} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{-2.25} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{-2.59} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$63.11 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-62.99} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-51.78} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{69} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{2.26} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{2.60} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador superior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$54.67 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-54.53} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-44.83} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{69} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{2.25} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{2.59} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Rigidizador inferior

Tensión de Von Mises en rigidizador (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$63.11 \text{ N/mm}^2 \leq 261.90 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

Donde:

 σ : Tensión normal

$$\sigma : \underline{-62.99} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{\perp}}{L_{\perp} \cdot t}$$

 F_{\perp} : Esfuerzo de cálculo normal de la sección

$$F_{\perp} : \underline{-51.78} \text{ kN}$$

 L_{\perp} : Anchura efectiva para esfuerzos normales

$$L_{\perp} : \underline{69} \text{ mm}$$

 τ : Tensión tangencial

$$\tau : \underline{-2.26} \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_{\parallel}}{L_{\parallel} \cdot t}$$

 F_{\parallel} : Esfuerzo de cálculo tangencial de la sección

$$F_{\parallel} : \underline{-2.60} \text{ kN}$$

 L_{\parallel} : Anchura efectiva para esfuerzos tangenciales

$$L_{\parallel} : \underline{96} \text{ mm}$$

 t : Espesor

$$t : \underline{12.0} \text{ mm}$$

 f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

 γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

– Comprobaciones por unión con elemento "

– Ala

Desgarro del ala por tracción de los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

13.16 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal

σ : 12.96 N/mm²

τ: Tensión tangencial

τ : 1.32 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

Cortante en el ala por los rigidizadores (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

12.95 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal

σ : 12.91 N/mm²

τ: Tensión tangencial

τ : 0.64 N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico.

f_y : 275.00 N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

γ_{M0} : 1.05

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (a) IPE 330'

– Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

53.17 kN ≤ 180.86 kN ✓

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

F_{T,Ed} : 53.17 kN

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

F_{T,Rd} : 180.86 kN

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

F_{T,3,Rd} : 180.86 kN

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$$

F_{T,2,Rd} : 251.98 kN

Producido por una versión educativa de CYPE

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,1,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_r^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,1,Rd} : \underline{2.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos $\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$
 t_r : Espesor de la chapa $t_r : \underline{17.5} \text{ mm}$
 m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela $m : \underline{20} \text{ mm}$
 $\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.* $\Sigma l_{eff,1} : \underline{124} \text{ mm}$
 f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual ΣL_w deberá tomarse igual a la longitud eficaz L_w para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

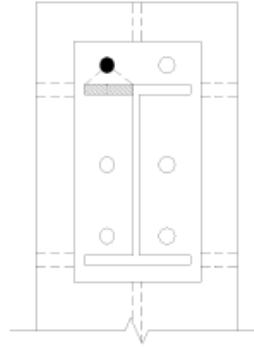
$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	1230	9.82	322.17	3.05
Inferior	--	--	--	--
Σ		9.82	322.17	3.05

Producido por una versión educativa de CYPE



– Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$51.21 \text{ kN} \leq 179.64 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{51.21} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{179.64} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{686.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

– Comprobaciones por unión con elemento 'Viga (b) IPE 330'

– Ala

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$53.17 \text{ kN} \leq 180.86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{53.17} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,2,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que no puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m} \quad F_{T,1,Rd} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en la fila: 1.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd}) \quad F_{T,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad M_{pl,1,Rd} : \underline{2.49} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos $\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$
 t_f : Espesor de la chapa $t_f : \underline{17.5} \text{ mm}$
 m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela $m : \underline{20} \text{ mm}$
 $\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.* $\Sigma l_{eff,1} : \underline{124} \text{ mm}$
 f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_{eff} deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_{eff} para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

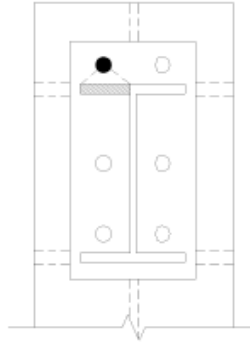
$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.
 $N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.
 $N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$
 f_{yd} : Resistencia de cálculo. $f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$
 $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$
 f_y : Tensión de límite elástico. $f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$
 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. $\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	1230	9.82	322.17	3.05
Inferior	--	--	--	--
Σ		9.82	322.17	3.05

Producido por una versión educativa de CYPE



- Alma

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$51.21 \text{ kN} \leq 179.64 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{51.21} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{179.64} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{686.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{MO}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{MO} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{MO} : \underline{1.05}$$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (α) comprendido entre 60° y 120° . Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $\alpha > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	6	96	12.0	90.00
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	4	177	10.0	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f _u (N/mm ²)	β _w
	σ _⊥ (N/mm ²)	τ _⊥ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ _⊥ (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador superior a las alas	38.6	38.6	2.2	77.2	20.01	38.6	11.76	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	5.6	9.7	2.50	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	44.5	44.5	2.3	89.2	23.11	44.5	13.58	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	6.9	11.9	3.08	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior a las alas	38.6	38.6	2.2	77.2	20.01	38.6	11.76	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador superior al alma	0.0	0.0	5.6	9.7	2.50	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	44.5	44.5	2.3	89.2	23.11	44.5	13.58	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador inferior al alma	0.0	0.0	6.9	11.9	3.08	0.0	0.00	410.0	0.85

Producido por una versión educativa de CYPE

2) Viga (a) IPE 330

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$51.21 \text{ kN} \leq 160.16 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

F_{T,Ed}: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{51.21} \text{ kN}$$

F_{T,Rd}: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{160.16} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{160.16} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{281.92} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en el grupo de filas: 1 y 2.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{160.16} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.54} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{2.42} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{t,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{t,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{14.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{36} \text{ mm}$$

n : Igual e_{mn} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{45} \text{ mm}$$

$\Sigma I_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma I_{eff,1} : \underline{198} \text{ mm}$$

$\Sigma I_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma I_{eff,2} : \underline{188} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual ΣI_r deberá tomarse igual a la longitud eficaz L_w para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Producido por una versión educativa de CYPE - Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$57.77 \text{ kN} \leq 199.18 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{57.77} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{199.18} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{761} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

ρ : Factor de reducción

$$\rho : \underline{0.000}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

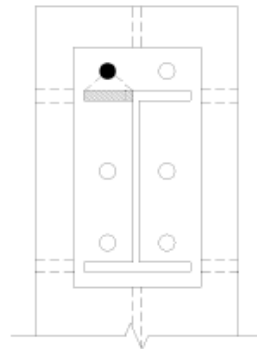
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N _{Ed} (kN)	N _{t,Rd} (kN)	Aprov. (%)
Superior	933	13.64	244.26	5.59
Inferior	--	--	--	--
Σ		13.64	244.26	5.59



Producido por una versión educativa de CYPE

- Alma

Cargas Concentradas (CTE DB SE A, 6.3.3.5)

No es necesario rigidizar el alma de una pieza sometida a cargas concentradas actuando sobre las alas si se cumple que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad (6.42)$$

$$0.01 \leq 1 \quad \checkmark$$

Donde:

F_{Ed} : Valor de cálculo de la carga concentrada,

$$F_{Ed} : \underline{2.83} \text{ kN}$$

$F_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas.

$$F_{b,Rd} : \underline{268.58} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_{yw} \cdot t_w \cdot L_{ef}}{\gamma_{M1}} \quad (6.43)$$

Donde:

$$L_{ef} = \chi_F \cdot \ell_y \quad (6.44)$$

$$L_{ef} : \underline{137.00} \text{ mm}$$

$$\chi_F = \frac{0.5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1 \quad (6.45)$$

$$\chi_F : \underline{1.00}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} \quad (6.46)$$

$$\bar{\lambda}_F : \underline{0.45}$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{d} \quad (6.47)$$

$F_{cr} : \underline{1561.39} \text{ kN}$

Los valores de l_y y de k_F dependen del caso considerado, de entre los representados en la figura 6.6:

- Caso a): carga (o reacción) aplicada a un ala y equilibrada por cortantes en el alma.

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{d}{a} \right)^2$$

$k_F : \underline{6.01}$

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \leq a$$

$l_y : \underline{137}$

viniendo cada coeficiente dado por las expresiones:

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w}$$

$m_1 : \underline{21.33}$

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 \left(\frac{d}{t_f} \right) & \text{si } \bar{\lambda}_F > 0,5 \text{ (cabe aproximar } \bar{\lambda}_F \text{ con la} \\ & \text{obtenida usando } m_2=0 \text{ para} \\ 0 & \text{si } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \text{ aproximar } l_y) \end{cases}$$

$m_2 : \underline{0.00}$

Donde:

s_s : Longitud de la entrega rígida de la carga.

$s_s : \underline{8} \text{ mm}$

t_w : Espesor del alma.

$t_w : \underline{8} \text{ mm}$

t_f : Espesor del ala.

$t_f : \underline{12} \text{ mm}$

f_{yw} : Tensión de límite elástico del alma.

$f_{yw} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

f_{yb} : Tensión de límite elástico del ala.

$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

E : Módulo de elasticidad.

$E : \underline{210000.0} \text{ N/mm}^2$

d : distancia entre alas

$d : \underline{307} \text{ mm}$

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$51.21 \text{ kN} \leq 245.01 \text{ kN} \checkmark$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{Ed} : \underline{51.21} \text{ kN}$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$N_{t,Rd} : \underline{245.01} \text{ kN}$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$A : \underline{935.00} \text{ mm}^2$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de

espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si a > 120° ⇒ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si a < 60° ⇒ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Producido por una versión educativa de CYPE

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	11.5	71.74
Soldadura del alma	En ángulo	4	285	7.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	11.5	71.74
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	4	293	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	6	160	11.5	80.57
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	5	2000	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	8	160	11.5	81.17

*a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas*

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	60.7	84.0	2.7	157.8	40.88	83.7	25.52	410.0	0.85
Soldadura del alma	31.2	31.2	1.2	62.5	16.19	31.2	9.52	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	0.0	0.0	0.7	1.3	0.33	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	32.5	32.5	1.2	65.0	16.83	32.5	9.90	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	69.6	82.2	2.9	158.5	41.07	82.4	25.13	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	2.7	4.7	1.22	0.1	0.03	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarro del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub} : resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solidado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

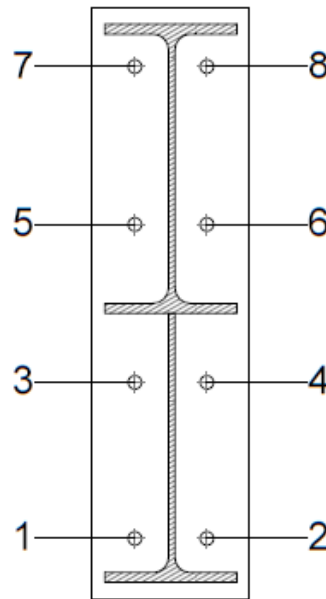
siendo

F_{v,Ed}: esfuerzo de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

F_{t,Ed}: esfuerzo axil de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

F_{v,Rd}: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

F_{t,Rd}: resistencia de cálculo en tracción.



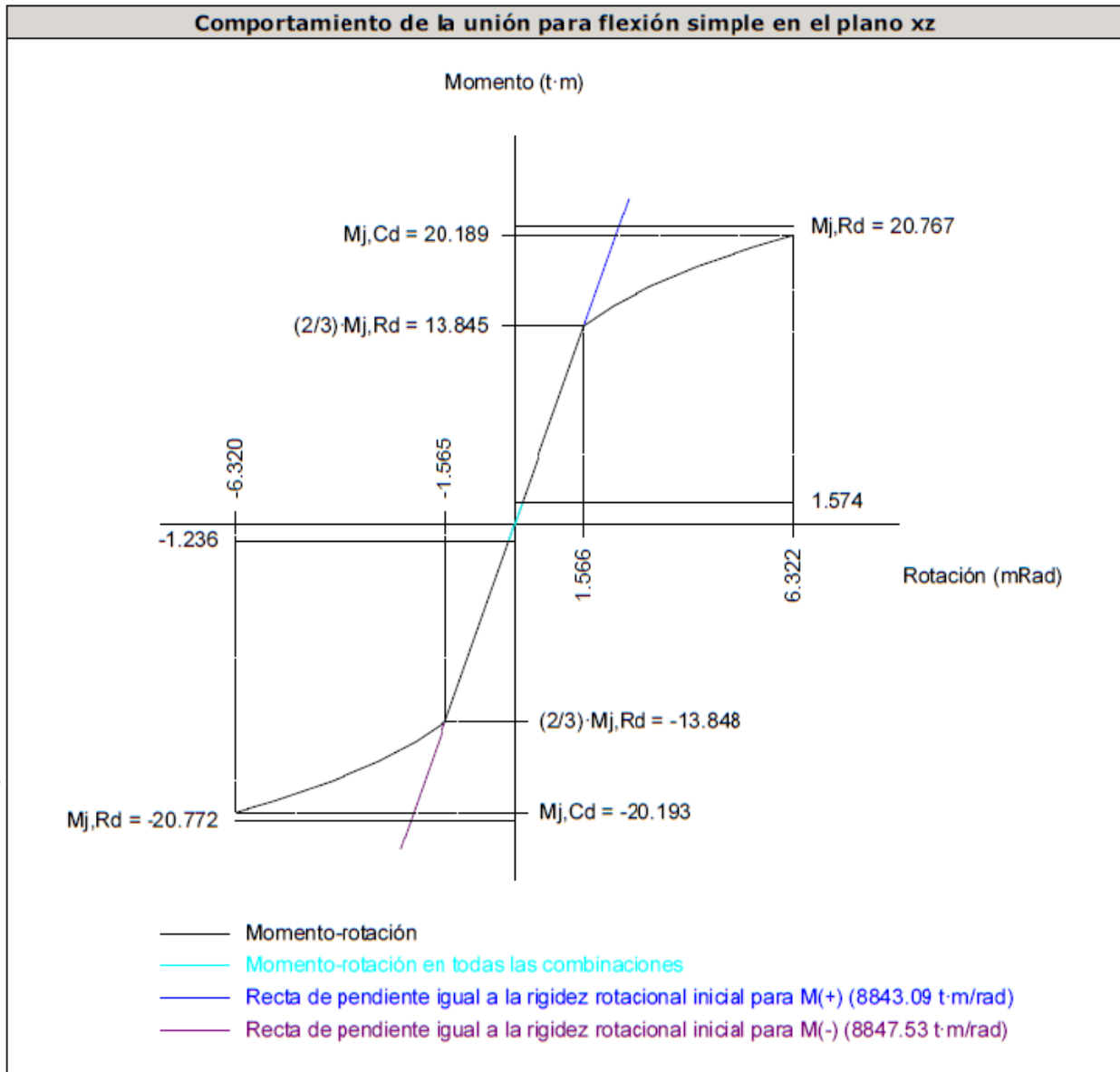
Producido por una versión educativa de CYPE

Disposición							
Tornillo	Denominación	d ₀ (mm)	e ₁ (mm)	e ₂ (mm)	p ₁ (mm)	p ₂ (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
7	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
8	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tornillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	13.755	64.340	21.38	Vástago	27.454	90.432	30.36	25.51	30.36
	Aplastamiento	13.755	183.636	7.49	Punzonamiento	27.454	219.639	12.50		
2	Sección transversal	13.755	64.340	21.38	Vástago	27.454	90.432	30.36	25.51	30.36
	Aplastamiento	13.755	183.636	7.49	Punzonamiento	27.454	219.639	12.50		
3	Sección transversal	4.425	64.340	6.88	Vástago	28.914	90.432	31.97	24.30	31.97
	Aplastamiento	4.425	183.574	2.41	Punzonamiento	28.914	219.639	13.16		
4	Sección transversal	4.425	64.340	6.88	Vástago	28.914	90.432	31.97	24.30	31.97
	Aplastamiento	4.425	183.574	2.41	Punzonamiento	28.914	219.639	13.16		
5	Sección transversal	5.797	64.340	9.01	Vástago	26.780	90.432	29.61	22.39	29.61
	Aplastamiento	5.797	183.680	3.16	Punzonamiento	26.780	219.639	12.19		
6	Sección transversal	5.797	64.340	9.01	Vástago	26.780	90.432	29.61	22.39	29.61
	Aplastamiento	5.797	183.680	3.16	Punzonamiento	26.780	219.639	12.19		
7	Sección transversal	13.434	64.340	20.88	Vástago	25.895	90.432	28.64	24.06	28.64
	Aplastamiento	13.434	183.680	7.31	Punzonamiento	25.895	219.639	11.79		
8	Sección transversal	13.434	64.340	20.88	Vástago	25.895	90.432	28.64	24.06	28.64
	Aplastamiento	13.434	183.680	7.31	Punzonamiento	25.895	219.639	11.79		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	789.92	8843.09
Calculada para momentos negativos	789.92	8847.53



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.39 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.39}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$15.44 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 203.72 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{15.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{203.72} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} \cdot d)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.03 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{0.18} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{6.32} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{612} \text{ mm}$$

β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.39}$$

3) Viga (b) IPE 330

- Chapa frontal

Casquillo en T equivalente (CTE DB SE-A, 8.8.3)

Debe cumplirse:

$$F_{T,Ed} \leq F_{T,Rd}$$

$$51.21 \text{ kN} \leq 160.16 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$F_{T,Ed}$: Fuerza de tracción solicitante

$$F_{T,Ed} : \underline{51.21} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd}$: Resistencia de cálculo de un ala del casquillo en T equivalente

$$F_{T,Rd} : \underline{160.16} \text{ kN}$$

La carga de rotura será la menor de las obtenidas:

b) Por rotura a tracción de los tornillos.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

$$F_{T,3,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

c) Por rotura a tracción de los tornillos y formación simultánea de rótulas (charnelas o líneas de rotura) en la zona de entronque ala-alma, lo que supone un mecanismo menos rígido de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{T,2,Rd} : \underline{160.16} \text{ kN}$$

d) Por formación de dos rótulas plásticas en cada ala de la T, una de ellas en el entronque ala-alma y otra en la línea de tornillos, que es el mecanismo más flexible de rotura. En los casos en los que puedan desarrollarse fuerzas de palanca:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$$

$$F_{T,1,Rd} : \underline{281.92} \text{ kN}$$

La menor resistencia se ha obtenido en el grupo de filas: 1 y 2.

$$F_{T,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{T,Rd} : \underline{160.16} \text{ kN}$$

Donde:

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,1,Rd} : \underline{2.54} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum I_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} : \underline{2.42} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$\Sigma F_{i,Rd}$: Sumatorio de las resistencias a tracción de los tornillos

$$\Sigma F_{i,Rd} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

t_f : Espesor de la chapa

$$t_f : \underline{14.0} \text{ mm}$$

m : Distancia del eje del tornillo a la rótula o charnela

$$m : \underline{36} \text{ mm}$$

n : Igual e_{min} pero $n \leq 1,25 \cdot m$

$$n : \underline{45} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,1}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 1.*

$$\Sigma l_{eff,1} : \underline{198} \text{ mm}$$

$\Sigma l_{eff,2}$: Suma de las longitudes eficaces para el modo 2.*

$$\Sigma l_{eff,2} : \underline{188} \text{ mm}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Nota: * En el caso de una fila de tornillos individual Σl_r deberá tomarse igual a la longitud eficaz l_r para esa fila de tornillos tomada como una fila de tornillos individual.

Producido por una versión educativa de CYPE

-Ala

Compresión en perfil base (Criterio de CYPE, basado en CTE DB SE-A, 6.2)

El valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$57.77 \text{ kN} \leq 199.18 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axial.

$$N_{Ed} : \underline{57.77} \text{ kN}$$

$N_{c,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a compresión.

$$N_{c,Rd} : \underline{199.18} \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f'_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde:

A : Área sometida a compresión

$$A : \underline{761} \text{ mm}^2$$

f'_y : Tensión de límite elástico reducida.

$$f'_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

$$f'_y = (1 - \rho) \cdot f_y$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

ρ : Factor de reducción

$$\rho : \underline{0.000}$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Reducción de la resistencia de cálculo por acciones combinadas

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección $V_{pl,Rd}$, no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

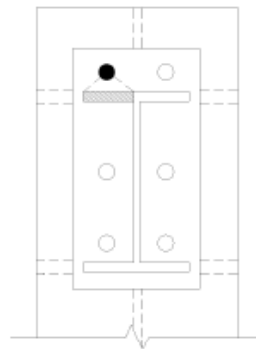
f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Fila	Área (mm ²)	N_{Ed} (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	Aprov. (%)
Superior	933	13.64	244.26	5.59
Inferior	--	--	--	--
Σ		13.64	244.26	5.59



Producido por una versión educativa de CYPE

-Alma

Cargas Concentradas (CTE DB SE A, 6.3.3.5)

No es necesario rigidizar el alma de una pieza sometida a cargas concentradas actuando sobre las alas si se cumple que:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad (6.42)$$

$$0.01 \leq 1 \quad \checkmark$$

Donde:

F_{Ed} : Valor de cálculo de la carga concentrada,

$$F_{Ed} : \underline{2.83} \text{ kN}$$

$F_{b,Rd}$: Resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas.

$$F_{b,Rd} : \underline{268.58} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo del alma frente a cargas concentradas viene dada por:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_{yw} \cdot t_w \cdot L_{ef}}{\gamma_{M1}} \quad (6.43)$$

Donde:

$$L_{ef} = \chi_F \cdot \ell_y \quad (6.44)$$

$$L_{ef} : \underline{137.00} \text{ mm}$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1 \quad (6.45)$$

$$\chi_F : \underline{1.00}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{\ell_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} \quad (6.46)$$

$$\bar{\lambda}_F : \underline{0.45}$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{d} \quad (6.47)$$

$$F_{cr} : \underline{1561.39} \text{ kN}$$

Los valores de ℓ_y y de k_F dependen del caso considerado, de entre los representados en la figura 6.6:

- Caso a): carga (o reacción) aplicada a un ala y equilibrada por cortantes en el alma.

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{d}{a} \right)^2$$

$$k_F : \underline{6.01}$$

$$\ell_y = s_s + 2 \cdot t_r \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) \leq a$$

$$\ell_y : \underline{137}$$

viniendo cada coeficiente dado por las expresiones:

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w}$$

$$m_1 : \underline{21.33}$$

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 \left(\frac{d}{t_r} \right) & \text{si } \bar{\lambda}_F > 0,5 \text{ (cabe aproximar } \bar{\lambda}_F \text{ con la} \\ 0 & \text{si } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \text{ obtenida usando } m_2=0 \text{ para} \\ & \text{aproximar } \ell_y \text{)} \end{cases}$$

$$m_2 : \underline{0.00}$$

Donde:

s_s : Longitud de la entrega rígida de la carga.

$$s_s : \underline{8} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8} \text{ mm}$$

t_r : Espesor del ala.

$$t_r : \underline{12} \text{ mm}$$

f_{yw} : Tensión de límite elástico del alma.

$$f_{yw} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

f_{yb} : Tensión de límite elástico del ala.

$$f_{yb} : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

E : Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000.0} \text{ N/mm}^2$$

d : distancia entre alas

$$d : \underline{307} \text{ mm}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

$$51.21 \text{ kN} \leq 245.01 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

N_{Ed} : Valor de cálculo del esfuerzo axil.

$$N_{Ed} : \underline{51.21} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción.

$$N_{t,Rd} : \underline{245.01} \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A : Área sometida a tracción

$$A : \underline{935.00} \text{ mm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

f_y : Tensión de límite elástico.

$$f_y : \underline{275.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{Mo} : Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.

$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).

Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).

En el caso de uniones en T

- si $a > 120^\circ \Rightarrow$ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si $a < 60^\circ \Rightarrow$ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).

Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (8.23)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

siendo

β_w : coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u : resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

σ_{\perp} : tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

σ_{\parallel} : tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

τ_{\perp} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

τ_{\parallel} : tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	6	160	11.5	71.74
Soldadura del alma	En ángulo	4	285	7.5	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	6	160	11.5	71.74
Soldadura del alma de la cartela	En ángulo	4	293	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela	En ángulo	6	160	11.5	80.57
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	En ángulo	5	2000	7.5	90.00
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	En ángulo	8	160	11.5	81.17

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm ²)	β_w
	σ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\perp} (N/mm ²)	τ_{\parallel} (N/mm ²)	Valor (N/mm ²)	Aprov. (%)	σ_{\perp} (N/mm ²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	60.7	84.0	2.7	157.8	40.88	83.7	25.52	410.0	0.85
Soldadura del alma	31.2	31.2	1.2	62.5	16.19	31.2	9.52	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	0.0	0.0	0.7	1.3	0.33	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela	32.5	32.5	1.2	65.0	16.83	32.5	9.90	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela	69.6	82.2	2.9	158.5	41.07	82.4	25.13	410.0	0.85
Soldadura del alma de la cartela al ala inferior	0.0	0.0	2.7	4.7	1.22	0.1	0.03	410.0	0.85
Soldadura del ala de la cartela al ala inferior	La comprobación no procede.							410.0	0.85

Comprobaciones para los tornillos

Disposiciones constructivas (CTE DB SE-A, 8.5.1)

Los límites máximos y mínimos para las distancias entre ejes de agujeros o de éstos a los bordes de las piezas, son:

a) distancias mínimas:

i) en la dirección de la fuerza que se transmite:

- $e_1 \geq 1.2 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_1 \geq 2.2 d_0$ entre ejes de agujeros.

ii) en la dirección perpendicular a la fuerza que se transmite:

- $e_2 \geq 1.5 d_0$ del eje del agujero al borde de la pieza.
- $p_2 \geq 3.0 d_0$ entre ejes de agujeros.

siendo d_0 el diámetro del agujero.

b) distancias máximas:

i) al borde de la pieza:

- Para e_1 y e_2 $\begin{cases} \leq 40 \text{ mm} + 4t \\ \leq 12t \text{ ó } 150 \text{ mm} \end{cases}$

ii) entre tornillos:

- en elementos a compresión será $p \leq 14 \cdot t$ ó 200 mm. siendo t el espesor en mm de la menor de las piezas que se unen.
- en elementos a tracción será $p \leq 28 \cdot t$ ó 400 mm.

Resistencia de las uniones atornilladas sin pretensar (CTE DB SE-A, 8.5.2)

- 2 La resistencia de cálculo a cortante por tornillo tendrá como valor el menor de la resistencia a cortante de las secciones del tornillo o a aplastamiento de la chapa de unión, sin que la resistencia total de la unión supere la resistencia a desgarrar del alma:

a) Resistencia a cortante en la sección transversal del tornillo:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,5 f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} \quad (8.7)$$

siendo

n: número de planos de corte.

f_{ub}: resistencia última del acero del tornillo.

A: área de la caña del tornillo A_d o el área resistente del tornillo A_s , según se encuentren los planos de cortadura en el vástago o en la parte roscada del tornillo respectivamente.

b) Resistencia a aplastamiento de la chapa que se une:

$$F_{t,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u dt}{\gamma_{M2}} \quad (8.8)$$

siendo

d: diámetro del vástago del tornillo.

t: menor espesor de las chapas que se unen.

f_u: resistencia última del acero de las chapas que se unen.

α: es el menor de:

$$\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0$$

Donde:

e₁: distancia del eje del agujero al borde de la chapa en la dirección de la fuerza que se transmite.

p₁: separación entre ejes de agujeros en la dirección de la fuerza que se transmite.

d₀: diámetro del agujero.

- 3 Resistencia a tracción. La resistencia de cálculo a tracción $F_{t,Rd}$, por tornillo, será la menor de:

a) La resistencia a tracción del tornillo:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (8.12)$$

siendo

A_s: área resistente a tracción del tornillo.

En tornillos de cabeza avellanada se admitirá como resistencia máxima el 70% de la expresada en (8.12).

b) La resistencia de cálculo a punzonamiento de la cabeza del tornillo o la tuerca, $F_{p,Rd}$, dada por:

$$F_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \quad (8.13)$$

siendo

t_p: espesor de la placa que se encuentra bajo el tornillo o la tuerca.

d_m: menor valor de la distancia media entre vértices y caras de la cabeza del tornillo o la tuerca.

- 4 Solicitación combinada. Cuando un tornillo esté solicitado simultáneamente a tracción y a esfuerzo cortante, además de cumplir separadamente las condiciones para cortadura y tracción, debe verificar la condición de interacción siguiente:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (8.14)$$

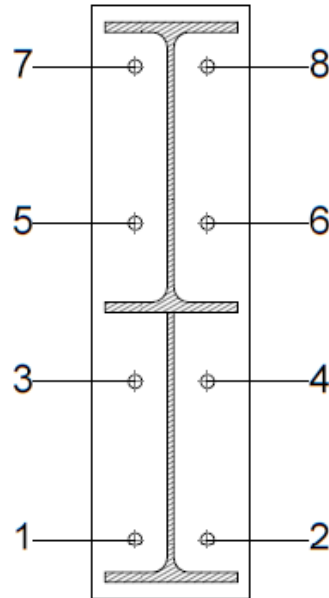
siendo

$F_{v,Ed}$: esfuerso de cálculo perpendicular al eje del tornillo.

$F_{t,Ed}$: esfuerso axil de cálculo por tornillo al que en su caso se añadirán las tracciones debidas al efecto palanca.

$F_{v,Rd}$: resistencia de cálculo frente a la cortadura del vástago.

$F_{t,Rd}$: resistencia de cálculo en tracción.



Producido por una versión educativa de CYPE

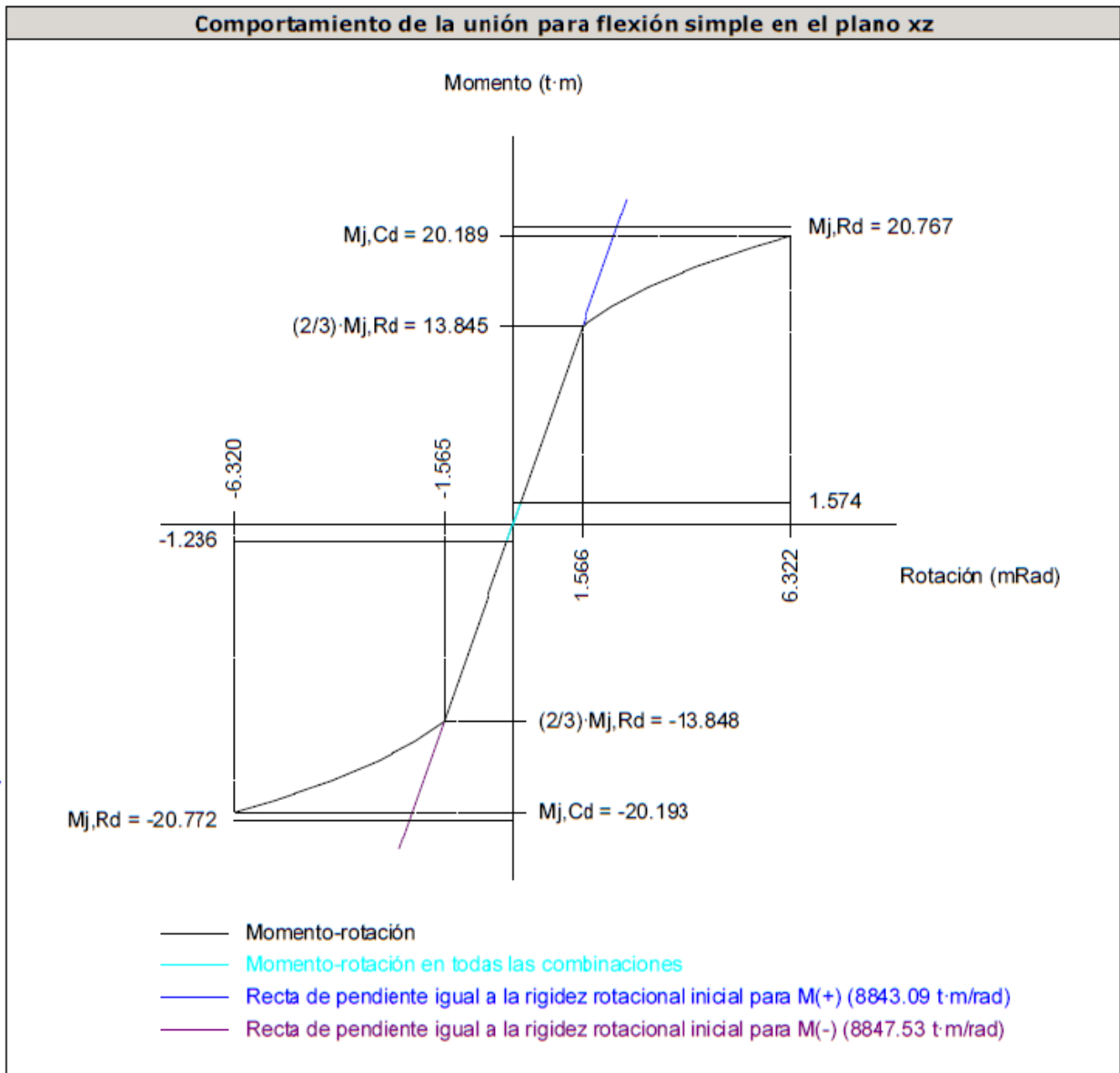
Disposición							
Tornillo	Denominación	d_0 (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)	m (mm)
1	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
2	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
3	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
4	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
5	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
6	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
7	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0
8	ISO 4014-M16x65-8.8	18.0	--	51	188	88	39.0

--: La comprobación no procede.

Resistencia										
Tomillo	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	Aprov. (%)	
1	Sección transversal	13.755	64.340	21.38	Vástago	27.454	90.432	30.36	25.51	30.36
	Aplastamiento	13.755	183.636	7.49	Punzonamiento	27.454	219.639	12.50		
2	Sección transversal	13.755	64.340	21.38	Vástago	27.454	90.432	30.36	25.51	30.36
	Aplastamiento	13.755	183.636	7.49	Punzonamiento	27.454	219.639	12.50		
3	Sección transversal	4.425	64.340	6.88	Vástago	28.914	90.432	31.97	24.30	31.97
	Aplastamiento	4.425	183.574	2.41	Punzonamiento	28.914	219.639	13.16		
4	Sección transversal	4.425	64.340	6.88	Vástago	28.914	90.432	31.97	24.30	31.97
	Aplastamiento	4.425	183.574	2.41	Punzonamiento	28.914	219.639	13.16		
5	Sección transversal	5.797	64.340	9.01	Vástago	26.780	90.432	29.61	22.39	29.61
	Aplastamiento	5.797	183.680	3.16	Punzonamiento	26.780	219.639	12.19		
6	Sección transversal	5.797	64.340	9.01	Vástago	26.780	90.432	29.61	22.39	29.61
	Aplastamiento	5.797	183.680	3.16	Punzonamiento	26.780	219.639	12.19		
7	Sección transversal	13.434	64.340	20.88	Vástago	25.895	90.432	28.64	24.06	28.64
	Aplastamiento	13.434	183.680	7.31	Punzonamiento	25.895	219.639	11.79		
8	Sección transversal	13.434	64.340	20.88	Vástago	25.895	90.432	28.64	24.06	28.64
	Aplastamiento	13.434	183.680	7.31	Punzonamiento	25.895	219.639	11.79		

Producido por una versión educativa de CYPE

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	789.92	8843.09
Calculada para momentos negativos	789.92	8847.53



Producido por una versión educativa de CYPE

Relación entre la resistencia del ala del casquillo en T en modo 1 y modo 3 (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\beta \leq 1,8$$

$$1.39 \leq 1.80 \quad \checkmark$$

$$\beta = \frac{F_{T,Rd1}}{F_{T,Rd3}}$$

$$\beta : \underline{1.39}$$

Donde:

$F_{T,Rd1}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 1

$$F_{T,Rd1} : \underline{251.98} \text{ kN}$$

$F_{T,Rd3}$: Resistencia del ala del casquillo en T en modo 3

$$F_{T,Rd3} : \underline{180.86} \text{ kN}$$

Momento resistente (CTE DB SE-A, 8.8.6)

La capacidad resistente a momento depende de la resistencia de los componentes de la unión, que se agrupan en tres zonas críticas: de tracción, de compresión y de cortante. El momento resistente de cálculo será la suma de los valores de cálculo de las resistencias eficaces de cada fila de tornillos traccionados, por su distancia al centro de la zona de compresión.

$$M_{Ed} \leq M_{j,Rd}$$

$$15.44 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq 203.72 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

M_{Ed} : Momento solicitante

$$M_{Ed} : \underline{15.44} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{j,Rd}$: Momento que puede resistir la unión. Viene dado por:

$$M_{j,Rd} : \underline{203.72} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} \cdot d_i)$$

Capacidad de rotación (Criterio de CYPE, basado en ENV 1993-1-1:1996, Anejo J.3.8)

Debe cumplirse:

$$\frac{\phi_{Ed}}{\phi_{Cd}} \leq \frac{2}{3}$$

$$0.03 \leq 0.67 \quad \checkmark$$

ϕ_{Ed} : Rotación correspondiente al momento solicitante

$$\phi_{Ed} : \underline{0.18} \text{ mRad}$$

ϕ_{Cd} : Capacidad de rotación de la unión.

$$\phi_{Cd} : \underline{6.32} \text{ mRad}$$

$$\phi_{Cd} = \frac{10,6 - 4 \cdot \beta}{1,3 \cdot h}$$

Donde:

h : Distancia de la fila al centro de compresiones

$$h : \underline{612} \text{ mm}$$

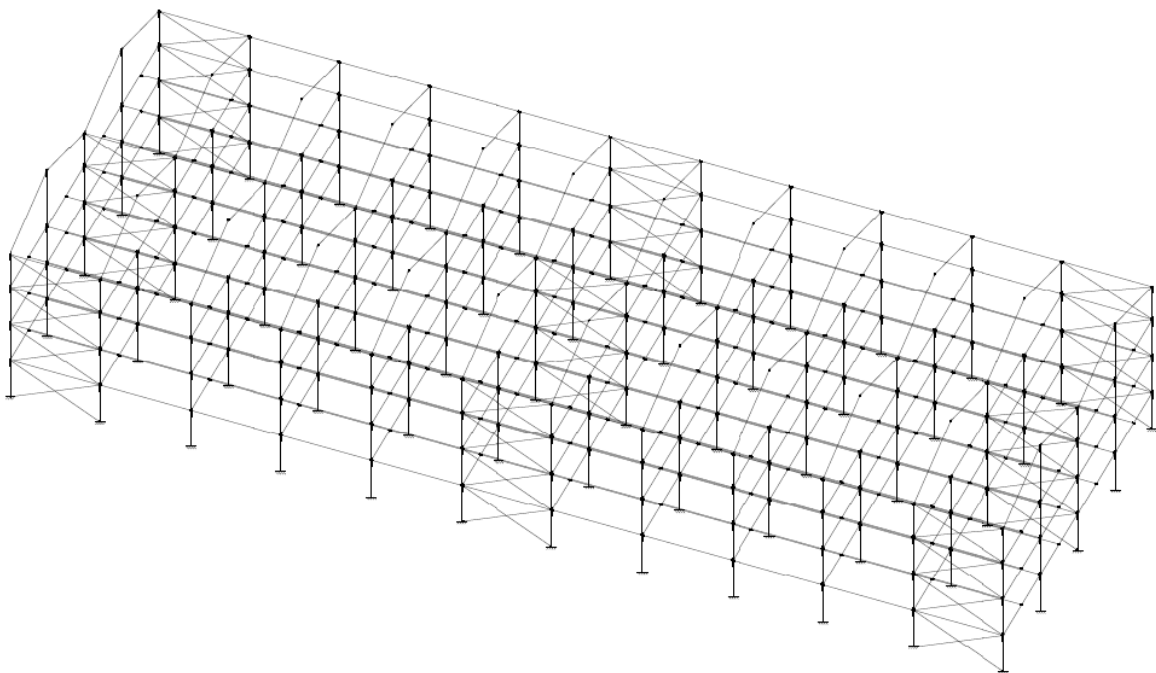
β : Relación entre la resistencia de la fila en modo 1 y en modo 3

$$\beta : \underline{1.39}$$

3.3.6 ARRISOTRAMENDUAK

Egituran arriostramendu sistema bat diseinatu da egituraren mugimenduak mugatzeko helburuarekin. Portikoen planoan egitura oso egonkorra da baina plano perpendikularrean egitura ez da hain zurruna eta ondorioz gehiago mugitu egiten da. Horregatik San Andres erako arriostramenduak kokatzea erabaki da Portiko Hastialen eta alboan dagoen Portiko Zentralaren artean.

Gainera, egitura nahiko luzea denez erdian kokatuta dauden bi portiko zentralen artean arriostramenduak ipintzea erabaki da. Diseinuaren aldetik onuragarria da eta mugimenduak hobeto kontrolatzen laguntzen du.



3.59 Irudia – Arriostramenduen kokalekua

3.3.6.1 ARRIOSTRAMENDUEN DIMENTSIONAMENDUA

Arriostramenduak osatzen dituzten kableak dimentsionatzeko CYPE 3D erabiliko da. Kableak trakzioan bakarrik egingo dute lan.

CYPEk egindako dimentsionamenduaren arabera erabili daitekeen lehen kable diametroa 18mm-koa da. Hala ere, 19mm-ko kablea erabiltzea erabaki da.

Perfil	Peso	Resistencia	Errores
✗ R 10	0.62	279.39 %	
✗ R 12	0.89	194.02 %	
✗ R 14	1.21	142.55 %	
✗ R 15	1.39	124.18 %	
✗ R 16	1.58	109.14 %	
✗ R 17	1.78	100.32 %	
✓ R 18	2.00	89.49 %	
✓ R 19	2.23	80.32 %	
✓ R 20	2.47	72.48 %	
✓ R 22	2.98	59.90 %	
✓ R 22.25	3.05	58.57 %	
✓ R 23.6	3.43	52.06 %	
✓ R 24	3.55	50.34 %	
✓ R 24.5	3.70	48.30 %	
✓ R 25	3.85	46.39 %	
✓ R 26	4.17	42.89 %	

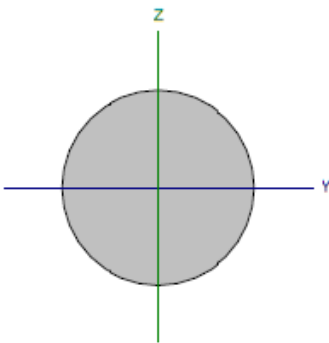
No se han definido límites de fecha
Se ha seleccionado no realizar la comprobación de resistencia al fuego

Significado de los iconos
✗ Perfil que no cumple alguna comprobación.
✓ Perfil que cumple todas las comprobaciones.

Aceptar Cancelar

3.60 Irudia – Arriostamenduentzako kable diametroak

Kablea erabilgarria dela erakusten duten kalkuluak honako hauek dira:

Perfil: R 19 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N146	N294	6.754	2.84	0.64	0.64	1.28
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo			Pandeo lateral			
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.	
β	0.00		0.00	0.00		0.00	
L _K	0.000		0.000	0.000		0.000	
C _m	1.000		1.000	1.000		1.000	
C _t	-			1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C _t : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	λ̄	N _t	N _c	M _y	M _z	V _z	V _y	M _y V _z	M _z V _y	NM _y M _z	NM _y M _z V _z	M _t	M _y V _z		M _z V _y
46/N294	λ̄ ≤ 4.0 Cumple	η = 80.3	N _{ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	M _{ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	M _{ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	V _{ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	V _{ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	M _{ed} = 0.00 N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁶⁾	CUMPLE η = 80.3
Definición: λ̄: Limitación de esbeltez N _t : Resistencia a tracción N _c : Resistencia a compresión M _y : Resistencia a flexión eje Y M _z : Resistencia a flexión eje Z V _y : Resistencia a corte Y V _z : Resistencia a corte Z M _y V _z : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M _z V _y : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM _y M _z : Resistencia a flexión y axil combinados NM _y M _z V _z : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M _t : Resistencia a torsión M _y V _z : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M _z V _y : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida λ̄ de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

- A: Área bruta de la sección transversal de la barra.
- f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)
- N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

- A : 2.84 cm²
- f_y : 2701.33 kp/cm²
- N_{cr} : ∞

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.803} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8-PP+0.8-CM1+1.5-V(90°)H1.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{5.858} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{7.294} \text{ t}$$

Donde:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{2.84} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2572.69} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2701.33} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

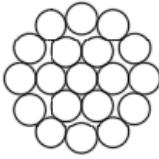
Kalkuluetan ikusi daiteke kablearen karga hurrengo dela:

$$N_{max,arrios} = 5858 \text{ Kg} = 58,58 \text{ KN}$$

Arriostamenduak elementu komertzialak dira. Fabrikanteak kableak jasan dezakeen karga maximoa adierazten du. Erabiliko diren arriostamenduen fabrikanteak, IGENA, diametro 19ko kablearentzako 21180 Kg-ko haustura karga definitzen du, kableak jasango duen karga baino askoz gehiago.

CABLE INOXIDABLE 316

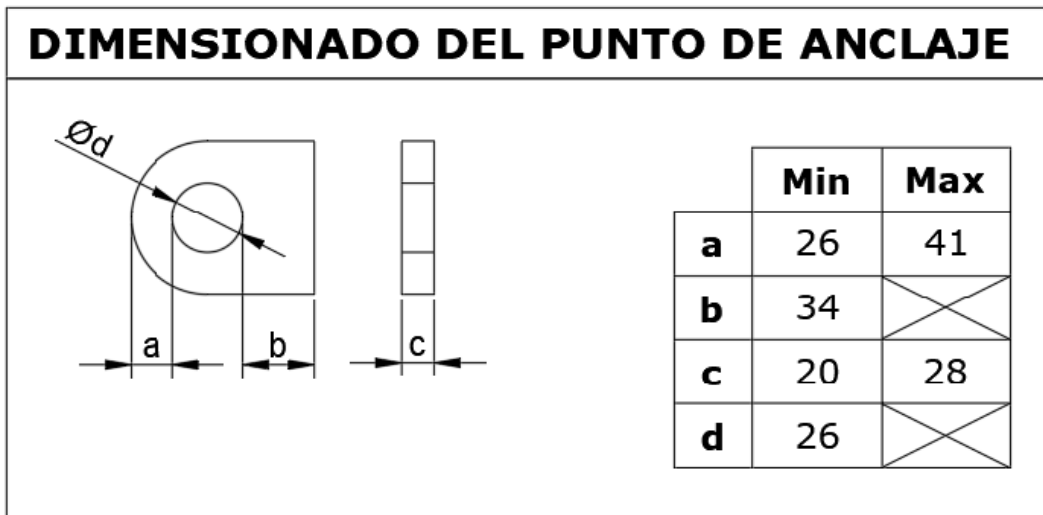
1 x 19



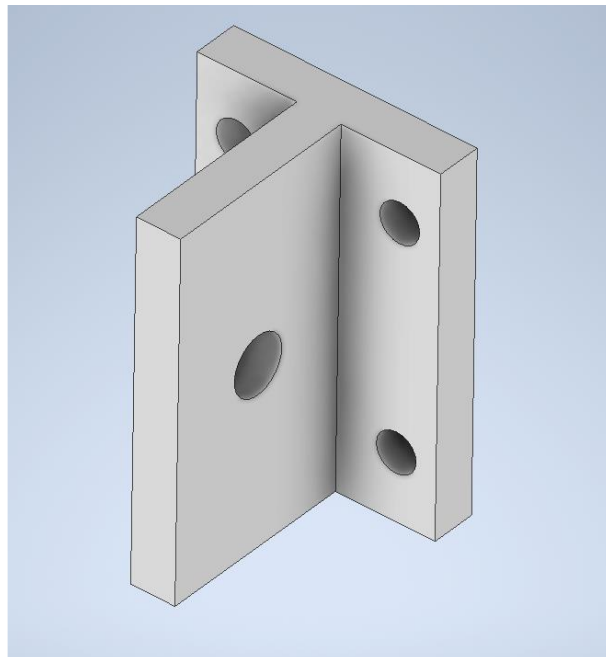
Cable Ø	19
Carga rotura (Kg)	21.180
Composición	1x19
Calidad	AISI 316
Límite elástico	70 %

3.61 Irudia – IGENA Fabrikantearen Kablearen Espezifikazio Teknikoak

Elementu komertziala denez, IGENA-k zutabeetara lotzeko piezak diseinatzeko beharrezko dimentsioak zehazten ditu. Ondorioz pieza hauek ez dira kalkulatuko suposatzen baita parametroak betez gero nahikoa izango dela beharrezko esfortzuak jasateko.



3.62 Irudia – Lotura Pieza diseinatzeko parametroak



3.63 Irudia – Arriostamenduen lotura pieza

Egiturarentzako diseinatutako pieza torloju bidez lotuko da zutabera eta horregatik diseinu ezberdina proposatu da. Hala ere, arriostamenduek jasaten duten karga, kablearen haustura karga baino askoz txikiagoa denez, arazo barik irautea espero da eta ez da kalkulurik egingo.

Bertan Isoieta eta zonalde plubiometrikoen mapa azaltzen da. Dokumentuaren B.1 Irudia erabilia Bilbo zein zonaldean dagoen ikusi daiteke.



3.65 Irudia – Zonalde Plubiometrikoak

Argi dago Bilbo 50 eta 60 isoieten artean dagoela kokaturik, A zonaldean. Kodigo Teknikoaren Osasungarritasun Dokumentuaren B.1 Taula erabilia erraz jakin daiteke Bilboko erregimen Plubiometrikoa.

Isoyeta	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Zona A	30	65	90	125	155	180	210	240	275	300	330	365
Zona B	30	50	70	90	110	135	150	170	195	220	240	265

3.31 Taula – Erregimen Plubiometrikoak

Bilbo 50 eta 60 isoieten artean kokaturik dago. Segurtasunaren aldetik diseinatzen denez, 60 isoietaren balioa hartuko da zuzenketa faktorea kalkulatzeko orduan. Zuzenketa faktorea honako hau da:

$$f = \frac{180}{100} = 1,8$$

Kanalioen diametroa kalkulatzeko, Kodigo Teknikoaren Osasungarritasun Dokumentuaren 4.2.2 Atalean azaltzen den 4.7 Taula erabili behar da. Hustubide bakoitzak 144m² hartzen ditu, taulan azaltzen diren azalerekin konparatzeko 144m² bider zuzenketa faktorea egin behar da. Ondorioz Taulan diametroa aukeratzeko erabili behar den azalera baliokidea 259,2m² da. Gainera kanaloiak %2 malda izatea aukeratu da. Balio hauekin diametroa aukeratu daiteke.

Máxima superficie de cubierta en proyección horizontal (m ²)				Diámetro nominal del canalón (mm)
Pendiente del canalón				
0.5 %	1 %	2 %	4 %	
35	45	65	95	100
60	80	115	165	125
90	125	175	255	150
185	260	370	520	200
335	475	670	930	250

3.32 Taula – Kanaloien diametro minimooa 100mm/h erregimen plubiometrikoentzat

Erdiko Isurialdearen **Kanaloiak 200mm-ko diametroa** izan behar du gutxienez. Kanaloiak hustubideetara isuriko dituzte euri urak %2-ko maldarekin eta hustubideen bitartez lurpeko kolektoreetara helduko dira. Ondorioz dimentsionatu behar den hurrengo elementua hustubideak dira.

Hustubideak dimentsionatzeko kanaloiak dimentsionatzeko erabili den azalera baliokide berbera erabili behar da, 259,2m² hain zuzen ere. Kodigo Teknikoaren Osasungarritasun Dokumentuaren 4.2.3 Atalean azaltzen den 4.8 Taula erabili behar da:

Superficie en proyección horizontal servida (m ²)	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

3.33 Taula – Hustubideen diametro minimooa 100mm/h erregimen plubiometrikoentzat

Hustubideek izan behar duten **diametro minimooa 90mm**-koa izan behar da. Azkenik kolektorearen diametroa definituko da.

Kolektoreak hustubide guztietatik datorren urak hartuko ditu. Hustubideak erregistro kutxatiletara eramango dituzte euri urak eta kolektoreak aterako ditu hurrengo erregistro kutxatilara eramateko. Azkenik Bilboko Itsasadarrera isuriko ditu euri urak. Ondorioz kontuan hartu behar den azalera, erdiko isurialdera isurtzen dituzten bi isurialdeen azalera totala da, 12m-66m. Gainera zuzenketa faktorearekin biderkatu behar da. Beraz, kalkulua egiteko erabili behar den azalera baliokidea 1425.6 m² dira.

Kodigo Teknikoaren Osasungarritasun Dokumentuaren 4.2.4 Atalean azaltzen den 4.9 Taula erabili behar da kolektorearen dimentsionamendua egiteko, berriz ere %2-ko malda aukeratu da:

Superficie proyectada (m ²)			Diámetro nominal del colector (mm)
Pendiente del colector			
1 %	2 %	4 %	
125	178	253	90
229	323	458	110
310	440	620	125
614	862	1.228	160
1.070	1.510	2.140	200
1.920	2.710	3.850	250
2.016	4.589	6.500	315

3.34 Taula – Kolektorearen diametro minimoa 100mm/h erregimen plubiometrikoentzat

Beraz, **Kolektoreak** izan behar duen **diametro minimoa** %2-ko maldarekin **200 mm**-koa da.

3.3.7.2 ALBOETAKO ISURIALDEAK

Alboko Isurialdeak, proiektzio horizontalean 6mx66m-ko azalera betetzen du. Kodigo Teknikoa Osasungarritasuna Dokumentua, 4.2 atalean azaltzen den 4.6 Taula erabiliko da hustubide kopuru minimoa definitzeko. Kasu honetan azalera 396m² dira 200 eta 500 artean, beraz hustubide kopuru minimoa 4 izango da. Diseinuaren erosotasunagatik 6 hustubide jarriko dira, 12m aldentuta bata bestearengandik, horrela hustubide bakoitzak 72m² izango du husteko.

Superficie de cubierta en proyección horizontal (m ²)	Número de sumideros
S < 100	2
100 ≤ S < 200	3
200 ≤ S < 500	4
S > 500	1 cada 150 m ²

3.35 Taula – Beharrezko Hustubide Kopurua Estalkiaren m²-engatik

3.3.7.1 Atalean kalkulaturako zuzenketa faktorea atal honetan ere baliozkoa da eta hurrengo diametroak kalkulatzeko erabiliko da.

Kanalioen diametroa kalkulatzeko, Kodigo Teknikoaren Osasungarritasun Dokumentuaren 4.2.2 Atalean azaltzen den 4.7 Taula erabili behar da. Hustubide bakoitzak 144m² hartzen ditu, taulan azaltzen diren azalerekin konparatzeko 72m² bider zuzenketa faktorea egin behar da. Ondorioz Taulan diametroa aukeratzeko erabili behar den azalera baliokidea 129.6m² da. Gainera kanaloiak %2 malda izatea aukeratu da. Balio hauekin diametroa aukeratu daiteke.

Máxima superficie de cubierta en proyección horizontal (m ²)				Diámetro nominal del canalón (mm)
Pendiente del canalón				
0.5 %	1 %	2 %	4 %	
35	45	65	95	100
60	80	115	165	125
90	125	175	255	150
185	260	370	520	200
335	475	670	930	250

3.36 Taula – Kanaloien diametro minimoa 100mm/h erregimen plubiometrikoentzat

Alboko Isurialdearen **Kanaloiak 150mm-ko diametroa** izan behar du gutxienez. Kanaloiak hustubideetara isuriko dituzte euri urak %2-ko maldarekin eta hustubideen bitartez lurpeko kolektoreetara helduko dira. Ondorioz dimentsionatu behar den hurrengo elementua hustubideak dira.

Hustubideak dimentsionatzeko kanaloiak dimentsionatzeko erabili den azalera baliokide berbera erabili behar da, 129.6m² hain zuzen ere. Kodigo Teknikoaren Osasungarritasun Dokumentuaren 4.2.3 Atalean azaltzen den 4.8 Taula erabili behar da:

Superficie en proyección horizontal servida (m ²)	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

3.37 Taula – Hustubideen diametro minimoa 100mm/h erregimen plubiometrikoentzat

Hustubideek izan behar duten **diametro minimoa 75mm**-koa izan behar da. Azkenik kolektorearen diametroa definituko da.

Kolektoreak hustubide guztietatik datorren urak hartuko ditu. Hustubideak erregistro kutxatiletara eramango dituzte euri urak eta kolektoreak aterako ditu hurrengo erregistro kutxatilara eramateko. Azkenik Bilboko Itsasadarrera isuriko ditu euri urak. Ondorioz kontuan hartu behar den azalera, alboko isurialdearen azalera totala da, 6m·66m. Gainera zuzenketa faktorearekin biderkatu behar da. Beraz, kalkulua egiteko erabili behar den azalera baliokidea 712.8 m² dira.

Kodigo Teknikoaren Osasungarritasun Dokumentuaren 4.2.4 Atalean azaltzen den 4.9 Taula erabili behar da kolektorearen dimentsionamendua egiteko, berriz ere %2-ko malda aukeratu da:

	Superficie proyectada (m ²)		Diámetro nominal del colector (mm)
	Pendiente del colector		
	1 %	4 %	
	125	253	90
	229	458	110
	310	620	125
	614	1.228	160
	1.070	2.140	200
	1.920	3.850	250
	2.016	6.500	315

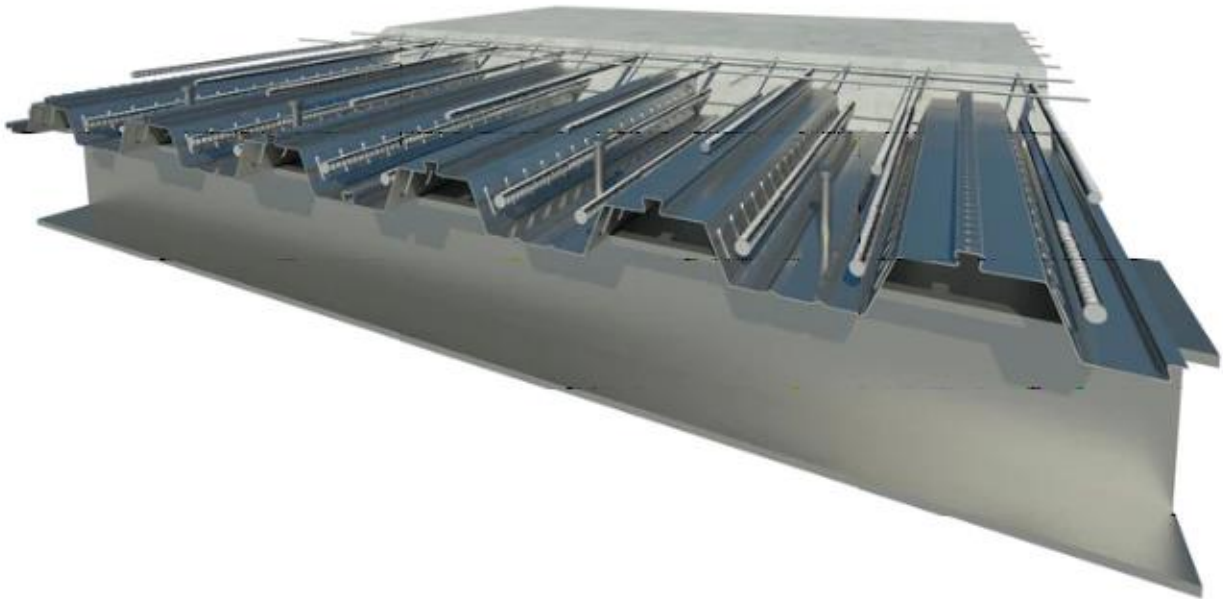
3.38 Taula – Kolektorearen diametro minimoa 100mm/h erregimen plubiometrikoentzat

Beraz, **Kolektoreak** izan behar duen **diametro minimoa %2-ko maldarekin 160 mm**-koa da.

Bi alboetako isurialdeak erregistro kutxatila batean elkartzen dira urak Bilboko Itsasadarrera isuri baino lehen. Erregistro kutxatila honetatik ateratzen den kolektoreak 3.33 Taulan lortu den balioaren diametroa izan behar du, 200mm-ko diametroa hain zuzen ere.

3.3.8 FORJATU KOLABORANTEA

Aurretik aipatu den moduan, egituraren solairuen zoria forjatu kolaboratzaile batez osatuta dago. Bi elementuk osatzen dute, altzairu galbanizatutako txapa batek eta bere gainean ipintzen den hormigoi armatuzko geruza. Karga astunak jasateko gai da eta bere abantaila nagusietako bat da enkofratuak eta zinbriak (3m baino gutxiagoko tartetean) ez direla beharrezkoak, exekuzio denborak murriztuz eta baita kosteak ere.



3.66 Irudia – Forjatu Kolaborantea

Bere kalkulua konplexutasun handia suposatzen du, horregatik alderdi honetan espezializatzen den enpresa bat, Europerfil, azpikontratatu da beharrezko osagaien xehetasunak zehaztu ahal izateko. Eman zaizkion datuak hurrengoak dira:

- Jasan beharreko karga aldakorra: 400 Kg/m²
- Beharrezko suaren aurkako erresistentzia: REI 120
- Euskarrien arteko distantzia maximoa: 3 m

Europerfil-ek egindako kalkuluen emaitza hurrengoa da:



HAIRCOL 59

ESTUDIO DE FORJADO COLABORANTE

Pers. contacto: Xabier Garcia
 Ref. Obra:
 Teléfono:
 E-mail:
 Fecha: 12/05/2024

Fax:

Localidad:

Superficie (m2):

Uso: Almacén (trasteros)

Ref. Estudio: 22FC052A - JRP

* Importante: Aportar Referencia con el pedido.

DATOS APORTADOS

Nº de Vanos:	5							
Vano nº:	1	2	3	4	5	6	7	8
Separación entre vigas (cm):	300	300	300	300	300			
Distribución (vanos/perfiles):	2/1, 3/1		Carga lineal móvil (daN/m):					
Reducción de luz (cm):			Nº de vanos con cargas lineales:					
Sobrecarga de uso (daN/m2):	400		REI Requerida (minutos):				120	
Carga permanente (daN/m2):			Flecha losa mixta (L/X):				L/500	
Ruedas (daN - cm - cm):			Flecha encofrado (L/X):				L/240	
Ejes (daN - cm - cm):			Tipo de sobrecarga de uso:				ESTÁTICA	

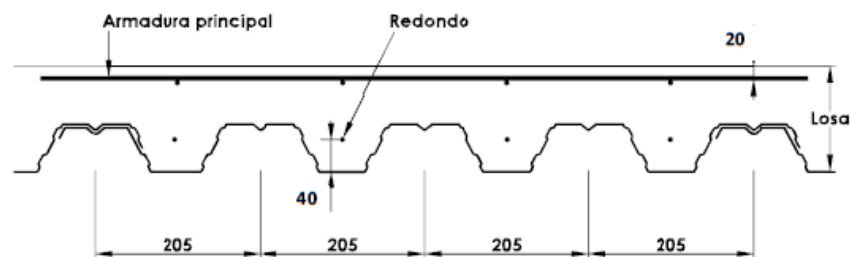
SOLUCIÓN DE LOSA

Espesor de HAIRCOL 59 (mm):	1,00	Tipo de hormigón:	NORMAL
Altura de Losa (cm):	16	Resistencia hormigón, fck (daN/cm2):	250
Peso total de la losa (daN/m2):	323	Losa continua:	SI
Resistencia al Fuego, REI (min):	120		
Sopandas/puntales:	NO		

Distribución de perfiles y vanos:	1	2	3	4	5	6	7	8
	300	300	300	300	300			

Armaduras (B 500 S):

Armadura Superior: 200x200 8-8 continuo (sección de retracción + negativos)
 Redondo de Fuego (RF): ø8



ESTA ES LA ÚNICA POSICIÓN CORRECTA DE MONTAJE DEL PERFIL HAIRCOL 59.
 NO COLOCAR PUNTALES EN LAS ZONAS EN LAS QUE NO HAYA SIDO PREVISTO SU USO.
 EL PASO DE CARRETILLAS ELEVADORAS REQUIERE MALLAS ADICIONALES DE REPARTO.
 LOS HUECOS MAYORES DE 300 MM. REQUIEREN ARMADURAS PERIMETRALES Y DEBEN PREVEERSE ANTES DEL HORMIGONADO.
 LOS VOLADIZOS DEBEN SER VERIFICADOS POR CÁLCULO.

Para cualquier aclaración rogamos que se pongan en contacto con:

Departamento Técnico de EUROPERFIL

Telf. 93.261.63.33 - Fax 93.261.63.38 - tecnico@europersil.com

