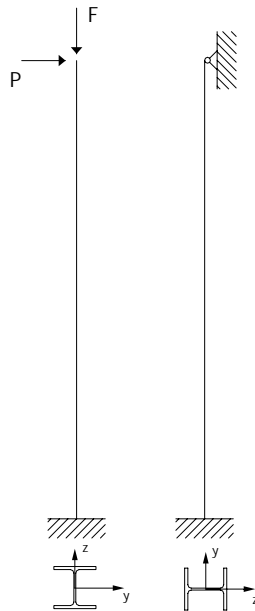


Estructuras de acero: Problemas Pilares

Dimensionar un pilar de 4 m de altura mediante un perfil HEB, sabiendo que ha de soportar una carga axial de compresión F de 400 kN y una carga horizontal P de 20 kN, y que estos valores ya están mayorados.

Las vinculaciones del pilar pueden observarse en la figura.

El acero será S275.



Las acciones que actúan sobre la cabeza del soporte provocan que trabaje a flexocompresión en el plano x-y, con un M_z .

Las sollicitaciones para las que hay que dimensionar el soporte son las que se producen en la sección del empotramiento, cuyo valor es igual a:

$$N_{Ed} = 400 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 20 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 20 \cdot 4 = 80 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Predimensionamiento

La barra es empotrada libre en el plano del pórtico y empotrada-articulada en el plano longitudinal.

La limitación de la esbeltez reducida es de 2,0 ($\bar{\lambda}_k < 2,00$).

Las longitudes equivalentes de pandeo son:

$$L_{k,y} = \beta \cdot L = 0,7 \cdot 400 = 280 \text{ cm}$$

$$L_{k,z} = \beta \cdot L = 2 \cdot 400 = 800 \text{ cm}$$

Las restricciones de los radios de giro son:

$$i_y > \frac{L_{k,y}}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{2800}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{275}{210000}} = 16,1 \text{ mm}$$

$$i_z > \frac{L_{k,z}}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{8000}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{275}{210000}} = 46,1 \text{ mm}$$

El perfil HEB 200 es el primero que cumple estas condiciones.

Por otro lado, teniendo en cuenta que todos los perfiles de la serie HEB en acero S275 pertenecen a las clases 1 ó 2, dependiendo de si la sollicitación es flexión o compresión, hasta el HEB 700¹, se puede emplear también como criterio de predimensionamiento la restricción de flexión simple para este tipo de perfiles, aún sabiendo que nos hallamos en flexión compuesta. Así,

$$M_{Ed} \leq W_{pl} \cdot f_{yd}$$

$$M_{Ed} \leq W_{pl,z} \cdot f_{yd} \rightarrow W_{pl,z} \geq \frac{M_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$\text{Numéricamente: } W_{pl,z} \geq \frac{80 \cdot 10^6}{\frac{275}{1,05}} = 305455 \text{ mm}^3$$

En el Anejo 1 se puede comprobar que el perfil HEB 200 es el primero que cumple con esta restricción.

¹ Tabla 8.2 en el documento «Estructuras de acero. Bases de cálculo».

Por tanto, teniendo en cuenta que la sollicitación es flexocompresión, con existencia de esfuerzo cortante, se elige un perfil superior. Así, se tantea con un HEB 220.

Comprobaciones

- Comprobación de resistencia (de la sección)
- Comprobación de la barra a flexión y compresión, que incluye:
 - Comprobación a pandeo en el plano de flexión
 - Comprobación a pandeo transversal. En este caso, como la flexión se produce respecto al eje débil, no se produce pandeo transversal respecto al eje fuerte.

✓ **Comprobación de resistencia**

La sección del empotramiento está sometida a flexión y cortante². Lo primero que se ha de comprobar es si puede despreciarse la reducción del momento plástico resistido por la sección debido al esfuerzo cortante.

Interacción momento-cortante

Si se cumple la condición $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$ se puede despreciar el cortante.

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

En perfiles H cargados perpendicularmente al alma, la sección sometida a cortante viene dada por la expresión:

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

$$d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 220 - 2 \cdot 16 - 2 \cdot 18 = 152 \text{ mm}$$

$$A_V = 9100 - 152 \cdot 9,5 = 7656 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_V \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 7656 \cdot \frac{275}{\sqrt{3}} = 1157670 \text{ N}$$

Como $V_{Ed} = 20 \text{ kN}$, se cumple que $V_{Ed} = 20 \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 578,8 \text{ kN}$

² Apartado 4.6 del documento «Estructuras de acero. Cálculo plástico de secciones».

Por tanto, no se va a tener en cuenta la interacción entre momento y cortante.

Comprobación a flexión compuesta sin cortante³

El efecto del axil puede despreciarse en perfiles en doble te si no llega a la mitad de la resistencia a tracción del alma.

El área del alma es:

$$A_w = (h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r) \cdot t_w = (220 - 2 \cdot 16 - 2 \cdot 18) \cdot 9,5 = 1444 \text{ mm}^2$$

La resistencia a tracción del alma, en secciones de Clase 1 y 2, viene dada por:

$$N_{pl,w} = A_w \cdot f_{yd} = 1444 \cdot \frac{275}{1,05} = 378190 \text{ N}$$

Por tanto, no se puede despreciar el efecto del axil.

Para las secciones de Clase 1 y 2 la comprobación es:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rdz}} \leq 1$$

Como el momento $M_{y,Ed}$ es nulo, la expresión anterior se simplifica, quedando:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rdz}} \leq 1$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 9100 \cdot \frac{275}{1,05} = 2383333 \text{ N}$$

$$M_{pl,Rdz} = W_{pl,z} \cdot f_{yd} = 394 \cdot 10^3 \cdot \frac{275}{1,05} = 1,03190 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\text{Por tanto, } \frac{400 \cdot 10^3}{2383333} + \frac{80 \cdot 10^6}{1,03190 \cdot 10^8} = 0,94 < 1$$

✓ **Comprobación a flexión y compresión⁴**

La comprobación se llevará a cabo con las fórmulas siguientes:

³ Apartado 4.7 del documento «Estructuras de acero. Cálculo plástico de secciones».

⁴ Apartado 5.5 del documento «Estructuras de acero. Cálculo plástico de secciones».

- En todas las piezas:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Además

- En piezas susceptibles de pandeo por torsión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_{yLT} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Como el momento $M_{y,Ed}$ es nulo, las expresiones anteriores se simplifican, quedando:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Al ser un perfil de Clase 1, $A^*=A$, $W_z=W_{pl,z}$, $\alpha_z=0,6$, $e_{N,z}=0$ (tabla 6.12).

Comprobación a pandeo⁵

Como ya se ha indicado, las longitudes equivalentes de pandeo son:

$$L_{k,y} = \beta \cdot L = 0,7 \cdot 400 = 280 \text{ cm}$$

$$L_{k,z} = \beta \cdot L = 2 \cdot 400 = 800 \text{ cm}$$

Se van a calcular los coeficientes de reducción por pandeo de cada eje.

HEB 220 ($A=91,0 \text{ cm}^2$, $I_y=8091 \text{ cm}^4$, $I_z=2843 \text{ cm}^4$, $I_T=84,4 \text{ cm}^4$)

Alrededor del eje y-y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{k,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 8091 \cdot 10^4}{2800^2} = 21389724 \text{ N}$$

⁵ Apartado 5.2.1 del documento «Estructuras de acero. Cálculo plástico de secciones».

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9100 \cdot 275}{21389724}} = 0,34$$

Se determina la curva de pandeo que le corresponde al perfil HEB 220 alrededor del eje y-y.

$$\frac{h}{b} = \frac{220}{220} = 1, t = 16 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Al perfil HEB 220 le corresponde una curva de pandeo *b* (tabla 6.2).

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_k - 0,2) + (\bar{\lambda}_k)^2 \right]$$

$\alpha=0,34$ (tabla 6.3). Por tanto

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,34 - 0,2) + 0,34^2 \right] = 0,58$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda}_y)^2}} = \frac{1}{0,58 + \sqrt{0,58^2 - 0,34^2}} = 0,95 < 1$$

Alrededor del eje z-z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{K,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 2843 \cdot 10^4}{8000^2} = 920695 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9100 \cdot 275}{920695}} = 1,65$$

Al perfil HEB 220 le corresponde una curva de pandeo *c* alrededor del eje z-z (tabla 6.2).

$\alpha=0,49$ (tabla 6.3). Por tanto

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,65 - 0,2) + 1,65^2 \right] = 2,22$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda}_z)^2}} = \frac{1}{2,22 + \sqrt{2,22^2 - 1,65^2}} = 0,27 < 1$$

Determinación del coeficiente k_z (tabla 6.13)

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{C,Rd}}, \text{ donde } \bar{\lambda}_z \geq 1$$

$$N_{C,Rd} = A^* \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Por ser una sección de clase 1, $A^*=A$.

$$\text{Así, } k_z = 1 + (1,00 - 0,6) \cdot \frac{400 \cdot 10^3}{0,27 \cdot 9100 \cdot \frac{275}{1,05}} = 1,25$$

Determinación del coeficiente $c_{m,z}$ (tabla 6.14)

El diagrama de momentos flectores es triangular, por lo que $\Psi=0$, y

$$c_{m,z} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow c_{m,z} = 0,6$$

Comprobaciones:

De este modo, las dos condiciones a comprobar se escriben:

$$\frac{400 \cdot 10^3}{0,95 \cdot 9100 \cdot \frac{275}{1,05}} + 0,6 \cdot 1,25 \cdot \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 10^6}{394 \cdot 10^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 0,53 < 1$$

$$\frac{400 \cdot 10^3}{0,27 \cdot 9100 \cdot \frac{275}{1,05}} + 1,25 \cdot \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 10^6}{394 \cdot 10^3 \cdot \frac{275}{1,05}} = 1,20 > 1$$

Por tanto, el perfil HEB 220 no es admisible.

Se prueba ahora con un perfil HEB 260.

✓ **Comprobación de resistencia**

Se puede despreciar el efecto del cortante, pues con un perfil superior de la misma clase aumenta $V_{pl,Rd}$, por lo que se cumple que $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$.

Comprobación a flexión compuesta sin cortante

El efecto del axil puede despreciarse en perfiles en doble te si no llega a la mitad de la resistencia a tracción del alma.

El área del alma es:

$$A_w = (h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r) \cdot t_w = (260 - 2 \cdot 17,5 - 2 \cdot 24) \cdot 10 = 1770 \text{ mm}^2$$

La resistencia a tracción del alma, en secciones de Clase 1 y 2, viene dada por:

$$N_{pl,w} = A_w \cdot f_{yd} = 1770 \cdot \frac{265}{1,05} = 413905 \text{ N}$$

En la expresión anterior puede comprobarse que se toma como resistencia del acero 265 N/mm^2 , debido a que el espesor de las alas supera los 16 mm.

Por tanto, no se puede despreciar el efecto del axil.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rdz}} \leq 1$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 11840 \cdot \frac{265}{1,05} = 2988191 \text{ N}$$

$$M_{pl,Rdz} = W_{pl,z} \cdot f_{yd} = 603 \cdot 10^3 \cdot \frac{265}{1,05} = 152185714 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\text{Por tanto, } \frac{400 \cdot 10^3}{2988191} + \frac{80 \cdot 10^6}{152185714} = 0,53 < 1$$

✓ **Comprobación a flexión y compresión**

Las comprobaciones son:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A^* \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A^* \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{c_{m,z} \cdot M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Al ser un perfil de Clase 1, $A^*=A$, $W_z=W_{pl,z}$, $\alpha_z=0,6$, $e_{N,z}=0$ (tabla 6.12).

Además, en piezas no susceptibles de pandeo por torsión, $\chi_{LT}=1$.

Comprobación a pandeo

Se van a calcular los coeficientes de reducción por pandeo de cada eje.

HEB 260 ($A=118,4 \text{ cm}^2$, $I_y=14919 \text{ cm}^4$, $I_z=5135 \text{ cm}^4$, $I_T=130 \text{ cm}^4$)

Alrededor del eje y-y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{K,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 14919 \cdot 10^4}{2800^2} = 39440525 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{11840 \cdot 265}{39440525}} = 0,28$$

$$\frac{h}{b} = \frac{260}{260} = 1, t = 17,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Alrededor del eje y-y, al perfil HEB 260 le corresponde una curva de pandeo b (tabla 6.2).

$\alpha=0,34$ (tabla 6.3). Por tanto

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,28 - 0,2) + 0,28^2] = 0,55$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda}_y)^2}} = \frac{1}{0,55 + \sqrt{0,55^2 - 0,28^2}} = 0,98 < 1$$

Alrededor del eje z-z

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{K,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 5135 \cdot 10^4}{8000^2} = 1662951 \text{ N}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{11840 \cdot 265}{1662951}} = 1,37$$

Al perfil HEB 260 le corresponde una curva de pandeo c alrededor del eje z-z (tabla 6.2).

$\alpha=0,49$ (tabla 6.3). Por tanto

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,37 - 0,2) + 1,37^2] = 1,73$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - (\bar{\lambda}_z)^2}} = \frac{1}{1,73 + \sqrt{1,73^2 - 1,37^2}} = 0,36 < 1$$

Determinación del coeficiente k_z (tabla 6.13)

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{C,Rd}}, \text{ donde } \bar{\lambda}_z \neq 1$$

$$N_{C,Rd} = A^* \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Por ser una sección de clase 1, $A^*=A$.

$$\text{Así, } k_z = 1 + (2 \cdot 1,00 - 0,6) \cdot \frac{400 \cdot 10^3}{0,36 \cdot 11840 \cdot \frac{265}{1,05}} = 1,52$$

Determinación del coeficiente $c_{m,z}$ (tabla 6.14)

El diagrama de momentos flectores es triangular, por lo que $\Psi=0$, y

$$c_{m,z} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow c_{m,z} = 0,6$$

Comprobaciones:

De este modo, las dos condiciones a comprobar se escriben:

$$\frac{400 \cdot 10^3}{0,98 \cdot 11840 \cdot \frac{265}{1,05}} + 0,6 \cdot 1,52 \cdot \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 10^6}{603 \cdot 10^3 \cdot \frac{265}{1,05}} = 0,42 < 1$$

$$\frac{400 \cdot 10^3}{0,36 \cdot 11840 \cdot \frac{265}{1,05}} + 1,52 \cdot \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 10^6}{603 \cdot 10^3 \cdot \frac{265}{1,05}} = 0,85 > 1$$

Por tanto, el perfil HEB 260 es admisible.

Anejo 1 Perfiles HEB

HEB	DIMENSIONES (mm)					SECC. A ·10 ² (mm ²)	PESO P (N/m)	REFERIDO AL EJE y-y				REFERIDO AL EJE z-z				HEB
	h	b	t _w	t _f	r			d	I _y ·10 ⁴ (mm ⁴)	W _y ·10 ³ (mm ³)	i _y (mm)	W _{ply} ·10 ³ (mm ³)	I _z ·10 ⁴ (mm ⁴)	W _z ·10 ³ (mm ³)	i _z (mm)	
100	100	100	6,0	10,0	12	56	26,0	200	450	90	41,6	104	167	33	25,3	100
120	120	120	6,5	11,0	12	74	34,0	262	864	144	50,4	165	318	53	30,6	120
140	140	140	7,0	12,0	12	92	43,0	331	1509	216	59,3	246	550	79	35,8	140
160	160	160	8,0	13,0	15	104	54,3	418	2492	311	67,8	354	889	111	40,5	160
180	180	180	8,5	14,0	15	122	65,3	502	3831	426	76,6	482	1363	151	45,7	180
200	200	200	9,0	15,0	18	134	78,1	601	5696	570	85,4	642	2003	200	50,7	200
220	220	220	9,5	16,0	18	152	91,0	701	8091	736	94,3	828	2843	258	55,9	220
240	240	240	10,0	17,0	21	164	106,0	816	11259	938	103,0	1050	3923	327	60,8	240
260	260	260	10,0	17,5	24	177	118,4	912	14919	1150	112,0	1280	5135	395	65,8	260
280	280	280	10,5	18,0	24	196	131,4	1010	19270	1380	121,0	1530	6595	471	70,9	280
300	300	300	11,0	19,0	27	208	149,1	1148	25166	1680	130,0	1870	8565	571	75,8	300
320	320	300	11,5	20,5	27	225	161,3	1246	30823	1930	138,0	2140	9239	616	75,7	320
340	340	300	12,0	21,5	27	243	170,9	1315	36656	2160	146,0	2400	9690	646	75,3	340
360	360	300	12,5	22,5	27	261	180,6	1393	43193	2400	155,0	2680	10140	676	74,9	360
400	400	300	13,5	24,0	27	298	197,8	1521	57680	2880	171,0	3240	10819	721	74,0	400
450	450	300	14,0	26,0	27	344	218,0	1678	79887	3580	191,0	3980	11721	781	73,3	450
500	500	300	14,5	28,0	27	390	238,6	1834	107176	4290	212,0	4820	12624	842	72,7	500
550	550	300	15,0	29,0	27	438	254,1	1952	136691	4970	232,0	5600	13077	872	71,7	550
600	600	300	15,5	30,0	27	486	270,0	2080	171041	5700	252,0	6420	13530	902	70,8	600

Valores de agotamiento para $f_y=275 \text{ N/mm}^2$

HEB	f_y (N/mm ²)	A _v (mm ²)	V _{pl,Rdy} (N)	A _v (mm ²)	V _{pl,Rdz} (N)	N _{plw} (N)	N _{pl,Rd} (N)	M _{pl,Rdy} (N.mm)	M _{pl,Rdz} (N.mm)	HEB
100	275	900	136089,7	2264	342341,2	88000,0	680952,4	27238095,2	13357142,9	100
120	275	1095,5	165651,4	2919	441384,3	125976,2	890476,2	43214285,7	21214285,7	120
140	275	1312	198388,5	3656	552826,6	168666,7	1126190,5	64428571,4	31428571,4	140
160	275	1764	266735,8	4598	695267,2	217904,8	1422142,9	92714285,7	44523809,5	160
180	275	2029	306806,7	5493	830600,8	271595,2	1710238,1	126238095,2	60500000,0	180
200	275	2485	375758,8	6604	998596,0	315857,1	2045476,2	168142857,1	80142857,1	200
220	275	2788	421575,7	7656	1157669,8	378190,5	2383333,3	216857142,9	103190476,2	220
240	265	3324	484347,4	8960	1305581,4	413904,8	2675238,1	265000000,0	125938095,2	240
260	265	3755	547149,4	10070	1467322,0	446714,3	2988190,5	323047619,0	152185714,3	260
280	265	4113	599314,3	11082	1614782,7	519400,0	3316285,7	386142857,1	181209523,8	280
300	265	4745	691404,4	12622	1839179,5	577447,6	3763000,0	471952381,0	219823809,5	300
320	265	5172,75	753732,8	13542,5	1973307,6	653035,7	4070904,8	540095238,1	237238095,2	320
340	265	5609	817299,8	14174	2065324,9	735942,9	4313190,5	605714285,7	248847619,0	340
360	265	6056,25	882469,6	14797,5	2156176,4	823392,9	4558000,0	676380952,4	259952381,0	360
400	265	7000	1019985,5	15757	2295987,3	1015328,6	4992095,2	817714285,7	277619047,6	400
450	265	7968	1161034,9	16984	2474776,2	1215466,7	5501904,8	1004476190,5	302857142,9	450
500	265	8978	1308204,2	18205	2652690,8	1427214,3	6021809,5	1216476190,5	325571428,6	500
550	265	10011	1458724,9	18840	2745218,1	1658142,9	6413000,0	1413333333,3	338190476,2	550
600	265	11085	1615219,9	19467	2836579,6	1901185,7	6814285,7	1620285714,3	350809523,8	600

Pandeo lateral

HEB	i _{f,z} (mm)	I _T ·10 ⁴ (mm ⁴)	I _a ·10 ⁶ (mm ⁶)	b _{LT,v} ·10 ⁶ (N·mm ²)	b _{LT,w} ·10 ⁹ (N·mm ²)	HEB
100	26,8	9,34	3375	161821	133977	100
120	32,2	14,9	9410	282039	309452	120
140	37,5	22,5	22480	455800	629557	140
160	42,7	33,2	47940	703918	1175263	160
180	48,0	46,5	93750	1031517	2034282	180
200	53,4	63,4	171100	1460115	3368809	200
220	58,7	84,4	295400	2007066	5256214	220
240	64,1	110	486900	2691581	7987998	240
260	69,6	130	753700	3347680	11546101	260
280	74,8	153	1130000	4115808	16002997	280
300	80,1	192	1688000	5254318	22340524	300
320	79,9	241	2069000	6113966	25537002	320
340	79,6	278	2454000	6724908	28366054	340
360	79,3	320	2883000	7380674	31280714	360
400	78,4	394	3817000	8459481	36689657	400
450	77,9	500	5258000	9919034	44650087	450
500	77,3	625	7018000	11509078	53129450	500
550	76,5	701	8856000	12405524	60283478	550
600	75,7	783	10965000	13336191	67699530	600