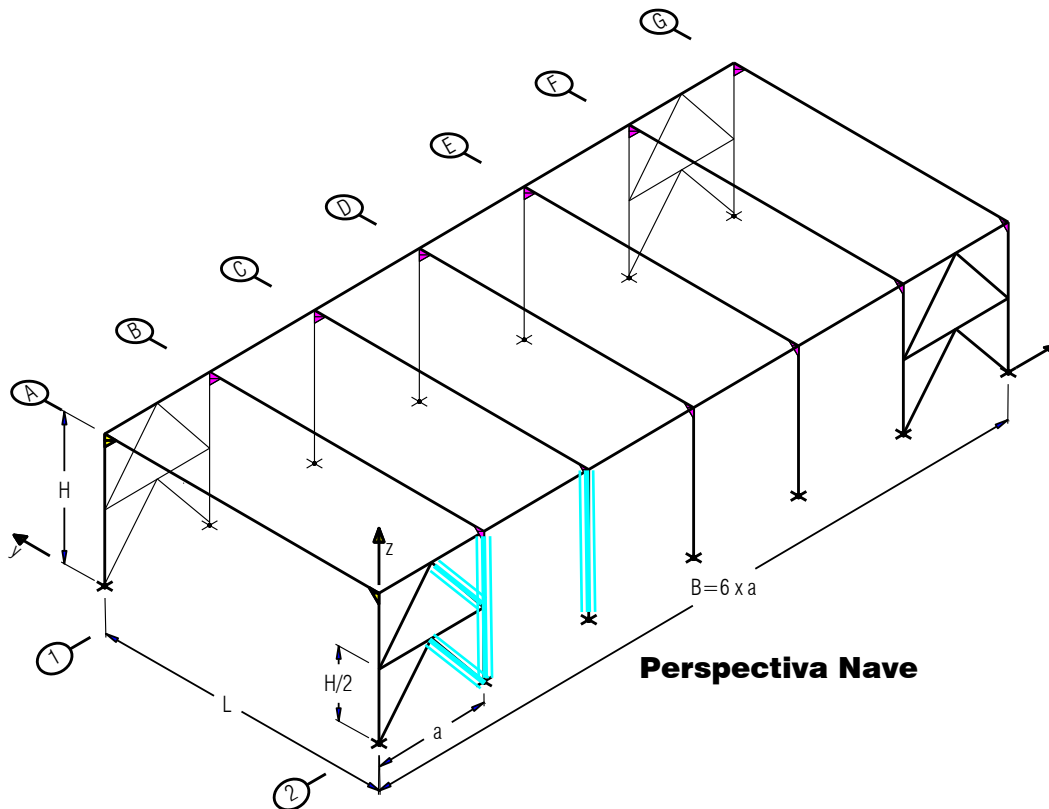


Ejercicio resuelto: Barras comprimidas

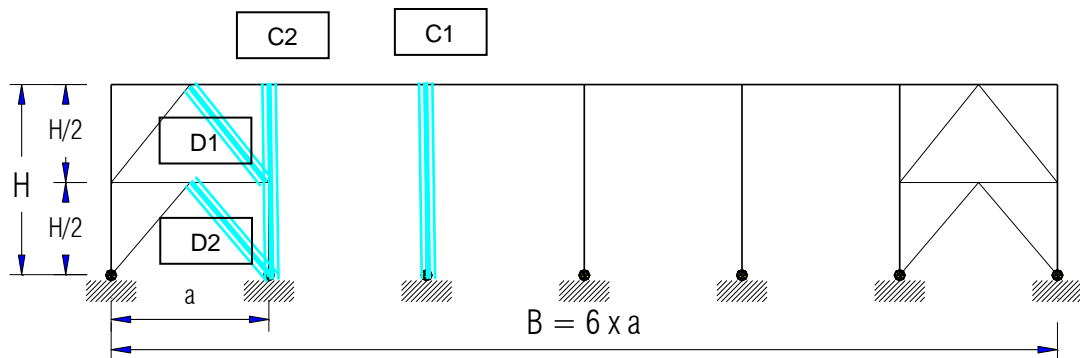
Prof. Eduardo Daniel Quiroga

1.- Enunciado

Resolver los componentes comprimidos. Considerar que pueden presentar esfuerzos combinados



Perspectiva Nave



Vista Lateral

2.- Solicitaciones simples y combinaciones

Columna C1							
		D	Lr	S	WT1	WT2	WL
N		-23.50	-37.40	-19.50	42.64	22.36	39.00
M	Mx	-58.57	-93.21	-48.60	-182.44	-35.58	-104.00
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	7.32	11.65	6.08	35.49	27.04	15.23
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C1		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		1.4	0	0	0	0	0	
N		-32.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-32.90
M	Mx	-82.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-82.00
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	10.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.25
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C2		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		1.2	1.6	0	0	0	0	
N		-28.20	-59.84	0.00	0.00	0.00	0.00	-88.04
M	Mx	-70.28	-149.14	0.00	0.00	0.00	0.00	-219.42
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	8.78	18.64	0.00	0.00	0.00	0.00	27.42
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C3		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		1.2	0	1.6	0	0	0	
N		-28.20	0.00	-31.20	0.00	0.00	0.00	-59.40
M	Mx	-70.28	0.00	-77.76	0.00	0.00	0.00	-148.04
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	8.78	0.00	9.73	0.00	0.00	0.00	18.51
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C4		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		1.2	0	1.6	0.8	0	0	
N		-28.20	0.00	-31.20	34.11	0.00	0.00	-25.29
M	Mx	-70.28	0.00	-77.76	-145.95	0.00	0.00	-294.00
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	8.78	0.00	9.73	28.39	0.00	0.00	46.90
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C5		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		1.2	0	1.6	0	0.8	0	
N		-28.20	0.00	-31.20	0.00	17.89	0.00	-41.51
M	Mx	-70.28	0.00	-77.76	0.00	-28.46	0.00	-176.51
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	8.78	0.00	9.73	0.00	21.63	0.00	40.14
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C6		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		1.2	0	0.8	1.5	0	0	
N		-28.20	0.00	-15.60	63.96	0.00	0.00	20.16
M	Mx	-70.28	0.00	-38.88	-273.66	0.00	0.00	-382.82
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	8.78	0.00	4.86	53.24	0.00	0.00	66.88
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C7		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		1.2	0	0.8	0	1.5	0	
N		-28.20	0.00	-15.60	0.00	33.54	0.00	-10.26
M	Mx	-70.28	0.00	-38.88	0.00	-53.37	0.00	-162.53
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	8.78	0.00	4.86	0.00	40.56	0.00	54.21
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C8		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		0.9	0	0	1.5	0	0	
N		-21.15	0.00	0.00	63.96	0.00	0.00	42.81
M	Mx	-52.71	0.00	0.00	-273.66	0.00	0.00	-326.37
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	6.59	0.00	0.00	53.24	0.00	0.00	59.82
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C9		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		0.9	0	0	0	1.5	0	
N		-21.15	0.00	0.00	0.00	33.54	0.00	12.39
M	Mx	-52.71	0.00	0.00	0.00	-53.37	0.00	-106.08
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	6.59	0.00	0.00	0.00	40.56	0.00	47.15
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C10		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		1.2	0	1.6	0	0	0.8	
N		-28.20	0.00	-31.20	0.00	0.00	31.20	-28.20
M	Mx	-70.28	0.00	-77.76	0.00	0.00	-83.20	-231.24
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	8.78	0.00	9.73	0.00	0.00	12.18	30.70
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C11		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		1.2	0	0.8	0	0	1.5	
N		-28.20	0.00	-15.60	0.00	0.00	58.50	14.70
M	Mx	-70.28	0.00	-38.88	0.00	0.00	-156.00	-265.16
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	8.78	0.00	4.86	0.00	0.00	22.85	36.49
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

C12		D	Lr	S	WT1	WT2	WL	Total
		0.9	0	0	0	0	1.5	
N		-21.15	0.00	0.00	0.00	0.00	58.50	37.35
M	Mx	-52.71	0.00	0.00	0.00	0.00	-156.00	-208.71
	My	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	Vy	6.59	0.00	0.00	0.00	0.00	22.85	29.43
	Vx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Las solicitaciones envolventes de verificación son: $P_u = - 88.04 \text{ kN}$ y $P_u = + 42.81 \text{ kN}$

Para la columna **C2** las combinaciones son iguales a la **C1**, pero se debe considerar el efecto del arriostramiento.

Para el caso del viento longitudinal se suma a la succión de la cubierta el efecto de compresión tracción de la columna como parte del arriostramiento. Esfuerzo $P = \pm 12.37 \text{ kN}$, por efecto del viento longitudinal. Por lo tanto para las combinaciones debe sumarse al indicado en la columna de viento (W_L de las planillas) por tratarse de un efecto simultáneo.

$$W_L = + 39.00 \pm 12.37 = + 51.37 \text{ kN} \text{ ó } 26.63 \text{ kN.}$$

$$P_{U1} = -88.04$$

$$P_{U2} = 0.90 \cdot (-23.50) + 1.50 \cdot (51.37) = + 55.91 \text{ kN}$$

Ecuación fundamental LRFD para compresión

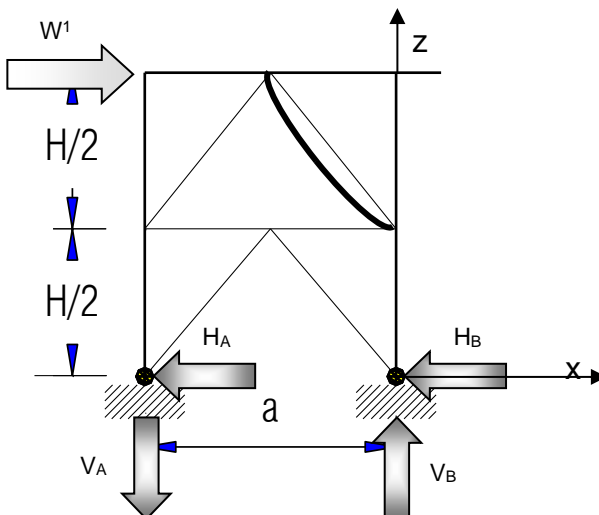
(R.R.) Resistencia Requerida \leq Resistencia de Diseño (R.D.)

(Compresión Requerida) $P_u \leq P_d = \phi \cdot P_n$ (Compresión de Diseño)

$$\sum \lambda_i Q_i \leq \phi R_n$$

3.- Verificación Diagonal D1

3.1.- Esfuerzos y Longitudes de Pandeo



La sollicitación se debe al viento longitudinal.

$$P_u = -15.93 \cdot 1.5 = 23.90 \text{ kN}$$

Se considera con el mismo comportamiento según los dos ejes respecto de los que se puede generar el pandeo.

$$L_x = L_y = 515 \text{ cm}; k_x = k_y = 1.00$$

Se verificará el mismo tubo de sección circular propuesto para la barra traccionada 59 x 2,5 mm (diámetro x espesor)

Ag	[cm ²]	4.51
rx	[cm]	2.03
ry	[cm]	2.03

$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} = \frac{1.00 \cdot 515}{2.03} = 253 > 200 \rightarrow \text{No Verifica esbeltez}$$

Se selecciona un tubo circular de 88.9 x 3,2 mm (ϕ x esp.)

$$\lambda = D/t = 88.9/3.2 = 27.8 < \lambda_r = 0.114 (E/F_y) = 0.114 (200000/240) = 92$$

Dado que $\lambda < \lambda_r$, no tiene elementos esbeltos y $Q = 1,0$

$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} = \frac{1.00 \cdot 515}{3.03} = 170 < 200 \rightarrow \text{Control de esbeltez global "OK"}$$

Ag	[cm ²]	8.62
rx	[cm]	3.03
ry	[cm]	3.03

3.2.- Resistencia Nominal de Compresión Pandeo Flexional (CIRSOC 302 Cap. 4)

$$\lambda_c = \frac{1.00 \cdot 515}{\pi \cdot 3.03} \cdot \sqrt{\frac{240}{202000}} = 1.87 > 1.50$$

$$F_{cr} = (0.877 / \lambda_c^2) \cdot F_y = (0.877 / 1.87^2) \cdot 240 = 0.25 \cdot 240 = 60.46 \text{ MPa}$$

$$P_n = 862 \text{ mm}^2 \cdot 60.46 \text{ MPa} = 51120 \text{ N} = 55.12 \text{ kN}$$

Resistencia Nominal a compresión

→ $P_n = 55.12 \text{ kN}$

3.3.- Resistencia Nominal de Compresión Pandeo Flexional – Torsional

No es aplicable este estado a tubos

3.4.- Resistencia de Diseño a Compresión

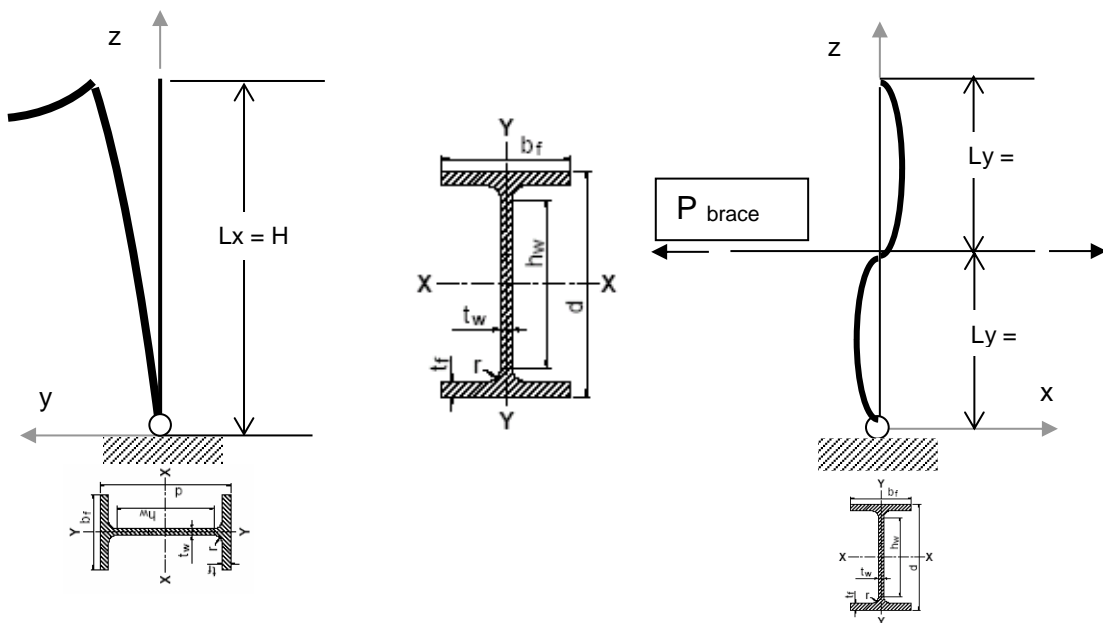
$$P_d = 0,85 \cdot P_n = 0,85 \cdot 55,12\text{kN} = 44.30 \text{ kN} > P_u = 23.90 \text{ kN}$$

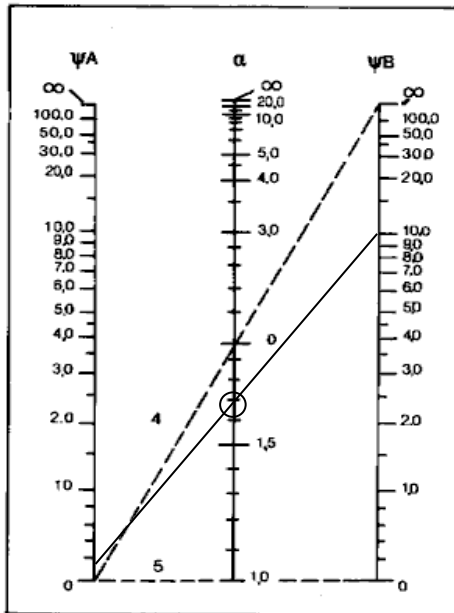
Eficiencia de la sección = $23.9/44.3 = 54\%$

La sección propuesta es **acceptable** para la compresión.

4.- Verificación Columna C1

4.1.- Longitudes de pandeo y esbeltez





PORTICOS TRASLACIONALES

Para ingresar en el nomograma

$$I_c = 1648\text{cm}^4; L_c = 800\text{cm}; I_v = 100000\text{cm}^4; L_v = 2000\text{cm}$$

$$G_A = (I_c/L_c)/(I_v/L_v) = (1648/800)/(100000/2000) = 2.06/50 = 0.04$$

$$G_B = 10 \text{ (se adopta por ser articulado)}$$

Del nomograma para pórticos desplazables se obtiene:

$$k_x = 1.70 \text{ para } L_x = H; \quad k_y = 1.00 \text{ para } L_y = H/2$$

Se selecciona un perfil W 8 x 13

Ag	[cm ²]	24,8
rx	[cm]	8,2
ry	[cm]	2,1

$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x} = \frac{1.70 \cdot 800}{8.20} = 167 < 200;$$

$$\lambda_y = \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} = \frac{1.00 \cdot 400}{2.14} = 187 < 200$$

Gobierna el comportamiento por giro alrededor del eje y-y

La *tensión crítica* F_{cr} (MPa) será determinada de la siguiente manera:

(a) Para $\lambda_c \leq 1,5$:

$$F_{cr} = (0,658 \lambda_c^2) F_y \quad (\text{E.2.2})$$

(b) Para $\lambda_c > 1,5$:

$$F_{cr} = \left[\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right] F_y \quad (\text{E.2.3})$$

4.2.- Resistencia Nominal de Compresión Pandeo Flexional

$$\lambda_c = \frac{1.00 \cdot 400}{\pi \cdot 2.14} \cdot \sqrt{\frac{240}{202000}} = 2.05 > 1.50$$

$$F_{cr} = (0.877 / \lambda_c^2) \cdot F_y = (0.877 / 2.05^2) \cdot 240 = 0.21 \cdot 240 = 49.99 \text{ Mpa}$$

$$P_n = 2480 \text{ mm}^2 \cdot 49.99 \text{ MPa} = 123840 \text{ N} = 123.84 \text{ kN} = 12.38 \text{ t}$$

Resistencia Nominal a compresión $\rightarrow P_n = 123.84 \text{ kN}$

4.3.- Resistencia Nominal de Compresión Pandeo Flexional – Torsional

(Nota: A completar por el alumno)

$$P_n = F_{cr} A_g (10^{-1}) \quad (\text{A-E.3.1})$$

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

Para $\lambda_e \sqrt{Q} \leq 1,5$

$$F_{cr} = Q \left(0,658^{Q \cdot \lambda_e^2} \right) F_y \quad (\text{A-E.3.2})$$

Para $\lambda_e \sqrt{Q} > 1,5$

$$F_{cr} = \left(\frac{0,877}{\lambda_e^2} \right) F_y \quad (\text{A-E.3.3})$$

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(k_z L)^2} + G J \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad (\text{A-E.3.5})$$

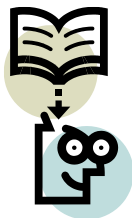
P_n flexotorsión > P_n flexional → Governa el pandeo Flexional

4.4.- Resistencia de Diseño a Compresión

$$P_d = \phi \cdot P_n = 0,85 \cdot P_n = 0,85 \cdot 123,84 \text{ kN} = 105,26 \text{ kN} > P_u = 88,04 \text{ kN}$$

La sección propuesta es aceptable para la compresión. Sin embargo, debemos recordar que el componente también está solicitado a flexión. Se debe completar la verificación con las expresiones de interacción.

Eficiencia de la sección = $88/105 = 84\%$



¿Podría proponer una sección alternativa más eficiente que la seleccionada, sin considerar la flexión?.

TABLA DE DISEÑO DE ELEMENTOS COMPRIMIDOS

$\phi = 0,85$			$F_y = 240 \text{ MPa}$			$E = 202000 \text{ MPa}$								
λ	λ_c	$\phi \cdot F_{cr}$	λ	λ_c	$\phi \cdot F_{cr}$	λ	λ_c	$\phi \cdot F_{cr}$	λ	λ_c	$\phi \cdot F_{cr}$	λ	λ_c	$\phi \cdot F_{cr}$
1	0,01	203,99	41	0,45	187,43	81	0,89	146,58	121	1,33	97,56	161	1,77	57,33
2	0,02	203,96	42	0,46	186,65	82	0,90	145,38	122	1,34	96,37	162	1,78	56,63
3	0,03	203,91	43	0,47	185,85	83	0,91	144,17	123	1,35	95,19	163	1,79	55,94
4	0,04	203,84	44	0,48	185,04	84	0,92	142,96	124	1,36	94,01	164	1,80	55,26
5	0,05	203,74	45	0,49	184,21	85	0,93	141,75	125	1,37	92,84	165	1,81	54,59
6	0,07	203,63	46	0,50	183,37	86	0,94	140,54	126	1,38	91,67	166	1,82	53,93
7	0,08	203,50	47	0,52	182,51	87	0,95	139,32	127	1,39	90,51	167	1,83	53,29
8	0,09	203,34	48	0,53	181,64	88	0,97	138,09	128	1,40	89,35	168	1,84	52,66
9	0,10	203,17	49	0,54	180,76	89	0,98	136,87	129	1,42	88,20	169	1,85	52,04
10	0,11	202,97	50	0,55	179,86	90	0,99	135,64	130	1,43	87,06	170	1,87	51,42
11	0,12	202,76	51	0,56	178,94	91	1,00	134,41	131	1,44	85,92	171	1,88	50,83
12	0,13	202,53	52	0,57	178,02	92	1,01	133,17	132	1,45	84,79	172	1,89	50,24
13	0,14	202,27	53	0,58	177,08	93	1,02	131,94	133	1,46	83,67	173	1,90	49,66
14	0,15	202,00	54	0,59	176,13	94	1,03	130,70	134	1,47	82,55	174	1,91	49,09
15	0,16	201,70	55	0,60	175,16	95	1,04	129,46	135	1,48	81,44	175	1,92	48,53
16	0,18	201,39	56	0,61	174,18	96	1,05	128,22	136	1,49	80,33	176	1,93	47,98
17	0,19	201,05	57	0,63	173,19	97	1,06	126,98	137	1,50	79,18	177	1,94	47,44
18	0,20	200,70	58	0,64	172,19	98	1,08	125,74	138	1,51	78,04	178	1,95	46,91
19	0,21	200,32	59	0,65	171,18	99	1,09	124,50	139	1,53	76,92	179	1,96	46,38
20	0,22	199,93	60	0,66	170,16	100	1,10	123,26	140	1,54	75,83	180	1,97	45,87
21	0,23	199,52	61	0,67	169,12	101	1,11	122,01	141	1,55	74,75	181	1,99	45,36
22	0,24	199,09	62	0,68	168,08	102	1,12	120,77	142	1,56	73,70	182	2,00	44,87
23	0,25	198,63	63	0,69	167,02	103	1,13	119,53	143	1,57	72,68	183	2,01	44,38
24	0,26	198,16	64	0,70	165,96	104	1,14	118,29	144	1,58	71,67	184	2,02	43,90
25	0,27	197,68	65	0,71	164,88	105	1,15	117,05	145	1,59	70,69	185	2,03	43,42
26	0,29	197,17	66	0,72	163,80	106	1,16	115,81	146	1,60	69,72	186	2,04	42,96
27	0,30	196,64	67	0,74	162,70	107	1,17	114,58	147	1,61	68,78	187	2,05	42,50
28	0,31	196,10	68	0,75	161,60	108	1,18	113,34	148	1,62	67,85	188	2,06	42,05
29	0,32	195,54	69	0,76	160,49	109	1,20	112,11	149	1,63	66,94	189	2,07	41,61
30	0,33	194,96	70	0,77	159,37	110	1,21	110,88	150	1,65	66,05	190	2,08	41,17
31	0,34	194,36	71	0,78	158,24	111	1,22	109,65	151	1,66	65,18	191	2,10	40,74
32	0,35	193,74	72	0,79	157,11	112	1,23	108,43	152	1,67	64,33	192	2,11	40,32
33	0,36	193,11	73	0,80	155,96	113	1,24	107,21	153	1,68	63,49	193	2,12	39,90
34	0,37	192,46	74	0,81	154,81	114	1,25	105,99	154	1,69	62,67	194	2,13	39,49
35	0,38	191,79	75	0,82	153,65	115	1,26	104,77	155	1,70	61,86	195	2,14	39,08
36	0,39	191,10	76	0,83	152,49	116	1,27	103,56	156	1,71	61,07	196	2,15	38,69
37	0,41	190,40	77	0,84	151,32	117	1,28	102,35	157	1,72	60,29	197	2,16	38,29
38	0,42	189,68	78	0,86	150,14	118	1,29	101,14	158	1,73	59,53	198	2,17	37,91
39	0,43	188,95	79	0,87	148,96	119	1,31	99,94	159	1,74	58,79	199	2,18	37,53
40	0,44	188,20	80	0,88	147,77	120	1,32	98,75	160	1,76	58,05	200	2,19	37,15

Los elementos de la sección transversal son todos compactos (λ_f y λ_w) $< \lambda_r$