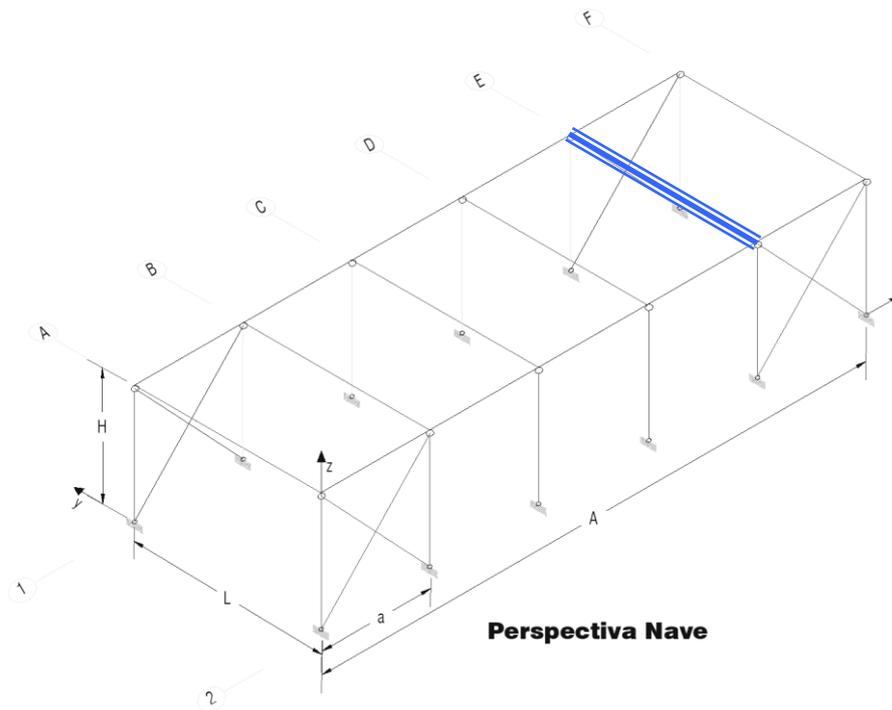


Revisión 2020¹

Datos generales

 $L = 10.20 \text{ m}$ $a = 5.00 \text{ m}$ $B = 25.00 \text{ m}$ $H = 6.00 \text{ m}$

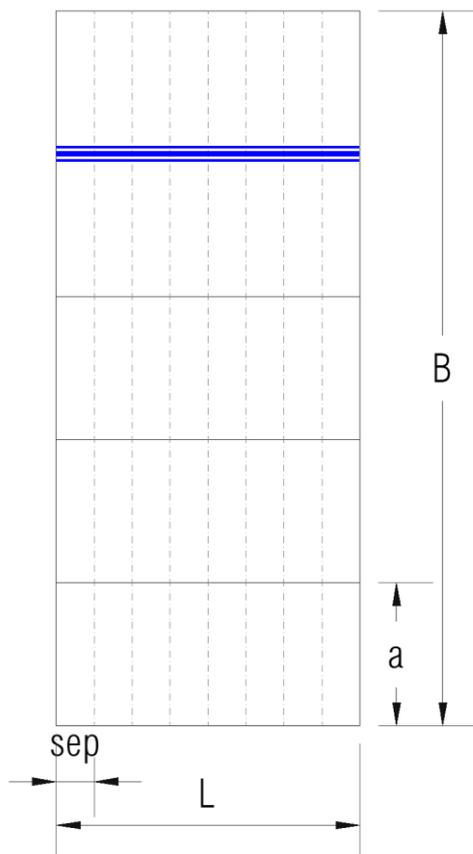
Dimensionar una viga de la Estructura Transversal Tipo, utilizando perfiles normales laminados.

Se podrán proponer soluciones que incidan sobre el diseño geométrico local o global.

En la planta de estructura adjunta no se han indicado arriostramientos de cubierta, los que serán dispuestos en las secciones específicas de este ejercicio. Algunos dibujos están incompletos para que sean completados en clase.

Comparar las soluciones y proponer cuál resulta más conveniente de acuerdo con el criterio propio. Se deberán controlar los Estados Límites Último y de Servicio mediante la aplicación de los capítulos F y L respectivamente del Reglamento CIRSOC 301.

Las acciones, solicitaciones y combinaciones responden a las obtenidas en el Ejercicio N° 1.



¹ Se han introducido correcciones. Se han ajustado gráficos y leyendas

1) Cubierta de Techo. Cargas permanentes (D)

$$(Chapa + aislamiento + cielorraso) = 20 \text{ kg/m}^2 = 0.20 \text{ kN/m}^2$$

2) Carga de mantenimiento de cubierta. (L_r) → (s/CIRSOC 101 sec. 4.9.)

$$L_r = 0.96 \cdot R_1 \cdot R_2 \quad [\text{kN/m}^2]$$

R₁ → función del área tributaria

R₂ → función de la pendiente de la cubierta

$$L_r = 0.96 \cdot 1.00 \cdot 1.00 = 0.96 \text{ kN/m}^2$$

3) Nieve (S)

→ s/CIRSOC 104

$$q_s = 30 \text{ kg/m}^2 = 0.30 \text{ kN/m}^2$$

4) Viento (W)

→ s/CIRSOC 102

Barlovento → $W_b = 80 \text{ kg/m}^2 = 0.80 \text{ kN/m}^2$

Sotavento → $W_s = - 50 \text{ kg/m}^2 = - 0.50 \text{ kN/m}^2$

Cubierta → $W_c = - 50 \text{ kg/m}^2 = - 0.50 \text{ kN/m}^2$

Combinaciones para una viga de techo (Sep. entre vigas = 5.00 m)

1) Cargas permanente (D)

$$q_D = 5.00 \text{ m} \times 0.20 \text{ kN/m}^2 = 1.0 \text{ kN/m} = 100.0 \text{ kg/m}$$

Se agrega peso propio elementos estructurales → 0.30 kN/m

$$q_D = 1.00 + 0.30 \text{ kN/m} = 1.3 \text{ kN/m} = 130.0 \text{ kg/m}$$

2) Cargas mantenimiento de cubierta (L_r)

$$q_{Lr} = 5.00 \text{ m} \times (0.96 \times 0.65 \times 1.00) \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Lr} = 5.00 \text{ m} \times 0.624 \text{ kN/m}^2 = 3.12 \text{ kN/m} = 312.0 \text{ kg/m}$$

$$A_{\text{infl}} = 10.20 \text{ m} \cdot 10.00 \text{ m} = 102.00 \text{ m}^2$$

$$A_T = 10.20 \text{ m} \cdot 5.00 \text{ m} = 51.00 \text{ m}^2 \rightarrow R_1 = 1.2 - 0.1076 \cdot A_T = 0.65$$

3) Nieve (S)

$$q_s = 5.00 \text{ m} \times 0.30 \text{ kN/m}^2 = 1.50 \text{ kN/m} = 150 \text{ kg/m}$$

4) Viento (W)

$$q_W = 5.00 \text{ m} \times (- 0.50) \text{ kN/m}^2 = - 2.50 \text{ kN/m} = 250.0 \text{ kg/m}$$

5) Montaje (L)

Consideraciones de montaje según el esquema proyectado

$$P = 1.0 \text{ kN} \text{ aplicada a } L_v / 2$$

Como no se pueden combinar las acciones, se trabaja sobre los efectos (solicitaciones) Momento flector y esfuerzo de corte. Se deberá repetir para cada sección característica. En el ejemplo consideramos el centro del tramo (para el momento) y un extremo (para el esfuerzo de corte)



1.- Solicitaciones

Se habían determinado las acciones y combinaciones para una viga de la Estructura Transversal Tipo, según las planillas siguientes:

	ESTADO LÍMITE ÚLTIMO							Momento Requerido [kNm]
	D	S	W1	W2	L	Lr		
	Cargas muertas	Nieve	Viento P	Viento S	Montaje	Mant. Cub		
	16,907	19,508	0,000	-32,513	2,550	40,576		
C1	1,40 23,67						23,67	
C2	1,20 20,29				1,60 4,08		24,37	
C3	1,20 20,29					1,60 64,92	85,21	
C4	1,20 20,29	1,80 31,21	0,80 0,00				51,30	
C5	1,20 20,29	0,50 9,75	1,50 0,00				30,04	
C6	0,90 15,22			1,50 -48,77			-33,55	

	ESTADO LÍMITE DE SERVICIO							Momento Requerido [kNm]
	D	S	W1	W2	L	Lr		
	Cargas muertas	Nieve	Viento P	Viento S	Montaje	Mant. Cub		
	16,907	19,508	0,000	-32,513	2,550	40,576		
C1	1,00 16,91						16,91	
C2	1,00 16,91				1,00 2,55		19,46	
C3	1,00 16,91					1,00 40,58	57,48	
C4	1,00 16,91	1,00 19,51	1,00 0,00				36,41	
C5	1,00 16,91	1,00 19,51	1,00 0,00				36,41	
C6	1,00 16,91			1,00 -32,51			-15,61	

Se plantean dos estados de verificación: Estado Límite Último (ELU) y Estado Límite de Servicio (ELS)

Para el ELU, se determinan:

$$\text{Combinación 3} \rightarrow Mu = 85.21 \text{ kN} = 8.521 \text{ t}; Vu = 33.41 \text{ kNm}$$

$$\text{Combinación 6} \rightarrow Mu = -33.55 \text{ kN} = -3.355 \text{ t}; Vu = -13.15 \text{ kNm}$$

Como se utilizarán secciones simétricas, sólo se verificará la Combinación 3.

Para el ELS, se determinan:

$$M \text{ (p/carga total)} = 57.48 \text{ kNm}$$

$$M \text{ (p/variable solamente)} = 40.58 \text{ kNm}$$

Resistencia Requerida ≤ Resistencia de Diseño

(Momento Flector Requerido) $M_u \leq M_d = \phi \cdot M_n$ (Momento Flector de Diseño)

(Corte Requerido) $V_u \leq V_d = \phi \cdot V_n$ (Corte de Diseño)

2.- Predimensionado

El predimensionado de los componentes flexionados, puede hacerse por diversos caminos. Se propone comenzar con una aproximación a partir del Estado Límite de Plastificación. La verificación final debe hacerse comparando los estados límites últimos con la resistencia requerida. Este paso sólo es preliminar y al sólo efecto de obtener una sección para comenzar la verificación.

Se plantea la resolución dos veces con dos maneras de expresar las unidades para adaptarse a la que se considere más conveniente.

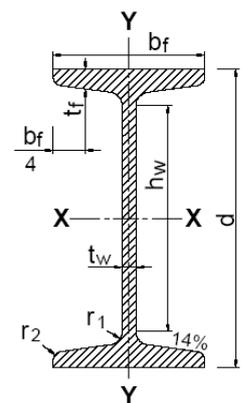
Estado Límite de Plastificación → $Z_x = M_u / (\phi \cdot F_y)$

$$Z_x = 85.21 \text{ kNm} \cdot (10^3) / (0.9 \cdot 240 \text{ MPa}) = 394 \text{ cm}^3$$

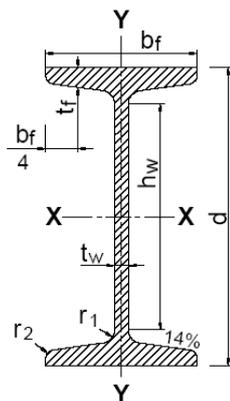
$$Z_x = 85.21 \text{ Nmm} (10^6) / (0.9 \cdot 240 \text{ N/mm}^2) = 394000 \text{ mm}^3$$

Corresponde I PN 240 ($Z_x=412 \text{ cm}^3$)

Designación	Dimensiones						Relaciones		Ag	Peso
	d	bf	tf	hw	tw=r ₁	r ₂	$\frac{bf}{2tf}$	$\frac{hw}{tw}$		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm			cm ²	Kg/m
240	240	106	13,1	192	8,7	5,2	4,05	22,1	46,1	36,2
260	260	113	14,1	208	9,4	5,6	4,01	22,1	53,3	41,9
280	280	119	15,2	225	10,1	6,1	3,91	22,3	61,0	47,9
300	300	125	16,2	241	10,8	6,5	3,86	22,3	69,0	54,2
320	320	131	17,3	258	11,5	6,9	3,79	22,4	77,7	61,0
340	340	137	18,3	274	12,2	7,3	3,74	22,5	86,7	68,0
360	360	143	19,5	290	13,0	7,8	3,67	22,3	97,0	76,1
380	380	149	20,5	306	13,7	8,2	3,63	22,3	107	84,0



Designación	X - X					Y - Y					
	lx	Sx	rx	Qx	Zx	ly	Sy	ry	Qy	1,5.Sy	Zy
	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ³	cm ³
240	4250	354	9,59	206	412	221	41,7	2,20	34,68	62,55	69,37
260	5740	442	10,4	257	514	288	51,0	2,32	42,56	76,50	85,11
280	7590	542	11,1	316	632	364	61,2	2,45	51,07	91,80	102,1
300	9800	653	11,9	381	762	451	72,2	2,56	60,29	108,3	120,6
320	12510	782	12,7	457	914	555	84,7	2,67	70,96	127,1	141,9
340	15700	923	13,5	540	1080	674	98,4	2,80	82,35	147,6	164,7
360	19610	1090	14,2	638	1276	818	114	2,90	95,96	171,6	191,9
380	24010	1260	15,0	741	1482	975	131	3,02	109,8	196,4	219,6



Designación	J	Cw	X ₁	X ₂ (10) ⁻⁵	Acero F-24			
					Carga Alma		Carga Ala Sup.	
					L _p	L _r	L _p	L _r
cm ⁴	cm ⁶	MPa	MPa ⁻²	cm	cm	cm	cm	
240	20,6	28730	24017	2,58	113	484	102	407
260	27,5	44070	23925	2,65	119	509	107	428
280	36,4	64580	24009	2,64	126	539	113	454
300	46,7	91850	23987	2,68	132	563	118	473
320	59,7	128800	24038	2,67	137	589	123	495
340	74,3	176300	24009	2,71	144	617	130	518
360	94,2	240100	24207	2,64	149	643	134	541
380	115	318700	24262	2,65	155	672	140	565

3.- Clasificación de Secciones

Se deben establecer las esbelteces de ala y alma.

Los límites se obtienen de la tabla B.5.1

Alma → Elementos rigidizados comprimidos por flexión (renglón 9)

I PN 240 → $\lambda_p = 108$; $\lambda_r = 164$

$\lambda_w = h_w / t_w = 22.1$ (datos obtenidos de tabla)

$\lambda_w < \lambda_p$ → **Alma Compacta**

Ala → Elementos no rigidizados comprimidos por flexión (renglón 1)

I PN 240 → $\lambda_p = 11$; $\lambda_r = 28$

$\lambda_f = 2 \cdot b_f / t_f = 4.05$ (datos obtenidos de tabla)

$\lambda_f < \lambda_p$ → **Ala Compacta**

4.- Estados Límites

4.1.- Plastificación

$M_p = Z_x \cdot F_y = 412000 \text{ mm}^3 \cdot 240 \text{ MPa} = 98.88 (10^{-6}) [\text{Nmm}] = 98.88 [\text{kNm}]$

4.2.- Pandeo Lateral Torsional (PLT) ó (TLB)

No se prevé arriostramientos del ala comprimida. Sólo están impedidos de desplazarse lateralmente los extremos de la viga simplemente apoyada. Por ello la longitud no arriostrada es igual a la luz de la viga ($L_b = L \text{ viga} = 10.20 \text{ m}$)

Se establecen los límites para determinar el comportamiento ante el PLT. Se pueden aplicar las expresiones del reglamento o bien obtenerlas de la tabla para el caso de carga en el ala superior. Estas longitudes dependen de las características geométricas de la sección de cada perfil, por ello si se cambia la sección, se deben considerar las nuevas distancias, que son independientes de la estructuración global.

$$L_p = 1,59 r_y \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad L_r = 1,28 \frac{r_y X_1}{F_L} \quad X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \text{ , en MPa}$$

Para el caso del I PN 240, tenemos:

$L_p = 102 \text{ cm}$

$L_r = 407 \text{ cm}$

$L_b = 1020 > L_r = 407 \rightarrow$

$$M_n = M_{cr} \leq M_p$$

$C_b = 1.14$ (Nota: determinar C_b , completando el diagrama de Momentos flectores y la ubicación de M_A ; M_B ; M_C y $M_{MÁX}$)

$$C_b = \frac{12,5 \cdot M_{MÁX}}{2,5 \cdot M_{MÁX} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C}$$

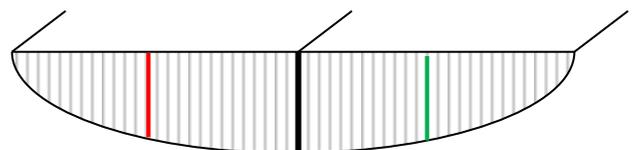


Diagrama de Momentos Flectores

$$C_b = \underline{\hspace{10em}}$$

$$M_{cr} = \frac{(10^{-3}) \cdot 1,28 \cdot C_b \cdot S_x \cdot X_1}{\frac{L_b}{r_y}}$$

$$M_{cr} = 26.76 \text{ [kNm]} < M_p = 98.88 \text{ [kNm]}$$

4.3.- Pandeo Local del Ala (PLF) ó (FLB)

Por las condiciones de la geometría local se trata de una sección compacta y podría alcanzar el Momento de Plastificación sin pandear.

4.4.- Pandeo Local del Alma (PLW) ó (WLB)

Por las condiciones de la geometría local se trata de una sección compacta y podría alcanzar el Momento de Plastificación sin pandear.

4.5.- Resumen

4.5.1.- E.L. Plastificación	→	Mn = 98.88 kNm
4.5.2.- E.L. PLT	→	Mn = 26.76 kNm
4.5.3.- E.L. PLF	→	Mn = 98.88 kNm
4.5.4.- E.L. PLW	→	Mn = 98.88 kNm

La viga planteada con una sección I PN 240, tendrá la resistencia nominal dada por el Pandeo Lateral Torsional

$$M_n = 26.76 \text{ kNm}$$

$$M_d = \phi \cdot M_n = 0.90 \cdot 26,76 \text{ kNm} = 24.08 \text{ kNm} = 2.408 \text{ tm}$$

$$M_d < M_u \rightarrow \text{No Verifica}$$

4.6.- Soluciones

Se puede proceder de varias formas:

1. Cambiar el perfil hasta obtener una sección satisfactoria (Local)
2. Modificar la sección transversal mejorando las propiedades geométricas locales (Local)
3. Modificar los arriostramientos transversales de la geometría global, cambiando Lb. (Global)

5.- Propuestas de modificación

5.1.- Cambiar perfil manteniendo el tipo de sección (IPN)

Se selecciona un **I PN 360**

5.1.1.- Plastificación

$$M_p = Z_x \cdot F_y = 1276000 \text{ mm}^3 \cdot 240 \text{ MPa} = 306.24 (10^{-6}) [\text{Nmm}] = 306.24 [\text{kNm}]$$

5.1.2.- Pandeo Lateral Torsional (PLT)

No se prevé arriostramientos del ala comprimida. Sólo están impedidos de desplazarse lateralmente los extremos de la viga simplemente apoyada. ($L_b = 10.20 \text{ m}$)

$$L_p = 1,59 r_y \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad L_r = 1,28 \frac{r_y X_1}{F_L} \quad X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}, \text{ en MPa}$$

Para el caso del I PN 360, tenemos:

$$L_p = 134 \text{ cm}$$

$$L_r = 541 \text{ cm}$$

$$C_b = 1.14$$

$$L_b = 1020 > L_r = 541 \rightarrow M_n = M_{cr} \leq M_p$$

$$M_{cr} = \frac{(10^{-3}) 1,28 \cdot C_b \cdot S_x \cdot X_1}{\frac{L_b}{r_y}}$$

$$M_{cr} = 109.47 [\text{kNm}] < M_p = 259.20 [\text{kNm}]$$

5.1.3.- Pandeo Local del Ala (PLF)

Por las condiciones de la geometría local se trata de una sección compacta y podría alcanzar el Momento de Plastificación sin pandear.

5.1.4.- Pandeo Local del Alma (PLW)

Por las condiciones de la geometría local se trata de una sección compacta y podría alcanzar el Momento de Plastificación sin pandear.

5.1.5.- Resumen

5.1.5.1.- E.L. Plastificación	→	Mn = 259.20 kNm
5.1.5.2.- E.L. PLT	→	Mn = 109.47 kNm
5.1.5.3.- E.L. PLF	→	Mn = 259.20 kNm
5.1.5.4.- E.L. PLW	→	Mn = 259.20 kNm

La viga planteada con una sección I PN 360, tendrá la resistencia nominal dada por el Pandeo Lateral Torsional

$$M_n = 109.47 \text{ kNm}$$

$$M_d = \phi \cdot M_n = 0.90 \cdot 109.47 \text{ kNm} = 98.52 \text{ kNm} = 9.852 \text{ tm}$$

$$M_d = 98.52 \text{ kNm} > M_u = 85.21 \text{ kNm} \rightarrow \text{Verifica}$$

La sección propuesta es satisfactoria.

5.2.- Cambiar perfil y tipo de sección

Se selecciona un I PN 260 + UPN 180

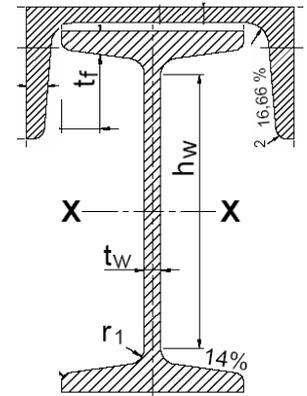
5.2.1.- Plastificación

$$M_p = Z_x \cdot F_y = 568000 \text{ mm}^3 \cdot 240 \text{ MPa}$$

$$M_p = 136.32 (10^{-6}) [\text{Nmm}] = 136.32 [\text{kNm}]$$

5.2.2.- Pandeo Lateral Torsional (PLT)

No se prevé arriostramientos del ala comprimida. Sólo están impedidos de desplazarse lateralmente los extremos de la viga simplemente apoyada. ($L_b = 10.20 \text{ m}$)



$$L_p = 1,59 r_y \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad L_r = 1,28 \frac{r_y X_1}{F_L} \quad X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}, \text{ en MPa}$$

$$L_p = 233 \text{ cm}$$

$$L_r = 890 \text{ cm}$$

$$L_b = 1020 > L_r = 890 \rightarrow$$

$$M_n = M_{cr} \leq M_p$$

$$C_b = 1.14$$

$$M_{cr} = \frac{(10^{-3}) 1,28 \cdot C_b \cdot S_x \cdot X_1}{\frac{L_b}{r_y}}$$

$$M_{cr} = 104.11 \text{ kNm} < M_p = 136.32 \text{ kNm}$$

5.2.3.- Pandeo Local del Ala (PLF)

Por las condiciones de la geometría local de ambos perfiles se trata de una sección compacta y podría alcanzar el Momento de Plastificación sin pandear.

5.2.4.- Pandeo Local del Alma (PLW)

Por las condiciones de la geometría local de ambos perfiles se trata de una sección compacta y podría alcanzar el Momento de Plastificación sin pandear.

5.2.5.- Resumen

5.2.5.1.- E.L. Plastificación	→	$M_n = 136.32 \text{ kNm}$
5.2.5.2.- E.L. PLT	→	$M_n = 104.11 \text{ kNm}$
5.2.5.3.- E.L. PLF	→	$M_n = 136.32 \text{ kNm}$
5.2.5.4.- E.L. PLW	→	$M_n = 136.32 \text{ kNm}$

La viga planteada con una sección I PN 260 + UPN 180, tendrá la resistencia nominal dada por el Pandeo Lateral Torsional

$$M_n = 104.11 \text{ kNm}$$

$$M_d = \phi \cdot M_n = 0.90 \cdot 104.11 \text{ kNm} = 93.70 \text{ kNm} = 9.370 \text{ tm}$$

$$M_d = 93.70 \text{ kNm} > M_u = 85.21 \text{ kNm} \rightarrow \text{Verifica}$$

La sección propuesta es satisfactoria.

5.3.- Cambiar arriostramientos cubierta a L/2

Nota: **Agregar arriostramientos en planta** coherentes con la configuración deformada de pandeo lateral representada.

$$L_b = L/2 = 10.20 / 2 = 5.10 \text{ m}$$

$$L = 10.20 \text{ m}$$

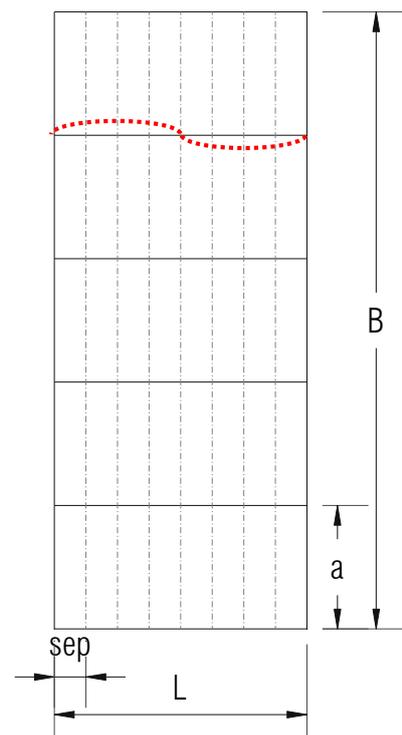
$$\text{Sep} = 1.275 \text{ m}$$

Se selecciona un I PN 280

5.3.1.- Plastificación

$$M_p = Z_x \cdot F_y = 632 \text{ cm}^3 \cdot 240 \text{ MPa} \cdot (10^{-3})$$

$$M_p = 151.68 \text{ kNm}$$



5.3.2.- Pandeo Lateral Torsional (PLT)

No se prevé arriostramientos del ala comprimida. Sólo están impedidos de desplazarse lateralmente los extremos de la viga simplemente apoyada. ($L_b = 10.20 \text{ m}$)

$$L_p = 1,59 r_y \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad L_r = 1,28 \frac{r_y X_1}{F_L} \quad X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}, \text{ en MPa}$$

Para el caso del I PN 280, tenemos:

$$L_p = 113 \text{ cm}$$

$$L_r = 454 \text{ cm}$$

$$L_b = 510 > L_r = 454 \rightarrow M_n = M_{cr} \leq M_p$$

Cálculo de C_b

Tomando:

$$M_{\text{máx}} = 1.00$$

$$M_A = 0.438$$

$$M_B = 0.750$$

$$M_C = 0.938$$

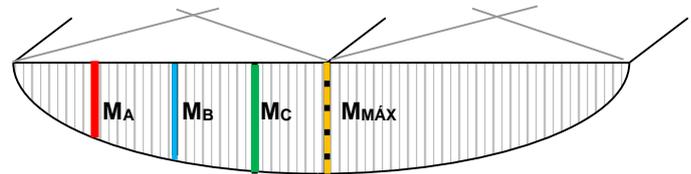


Diagrama de Momentos Flectores

$$C_b = \frac{12,5 \cdot 1,00}{2,5 \cdot 1,00 + 3 \cdot 0,438 + 4 \cdot 0,75 + 3 \cdot 0,938} = 1.30$$

$$M_{cr} = \frac{(10^{-3}) 1,28 C_b S_x X_1}{\frac{L_b}{r_y}}$$

$$M_{cr} = 104.02 \text{ kNm} < M_p = 123.36 \text{ kNm}$$

5.3.3.- Pandeo Local del Ala (PLF)

Por las condiciones de la geometría local se trata de una sección compacta y podría alcanzar el Momento de Plastificación sin pandear.

5.3.4.- Pandeo Local del Alma (PLW)

Por las condiciones de la geometría local se trata de una sección compacta y podría alcanzar el Momento de Plastificación sin pandear.

5.3.5.- Resumen

5.3.5.1.- E.L. Plastificación	→	$M_n = 123.36 \text{ kNm}$
5.3.5.2.- E.L. PLT	→	$M_n = 104.02 \text{ kNm}$
5.3.5.3.- E.L. PLF	→	$M_n = 123.36 \text{ kNm}$
5.3.5.4.- E.L. PLW	→	$M_n = 123.36 \text{ kNm}$

La viga planteada con una sección I PN 280, tendrá la resistencia nominal dada por el Pandeo Lateral Torsional

$$M_n = 104.02 \text{ kNm}$$

$$M_d = \phi \cdot M_n = 0.90 \cdot 104.02 \text{ kNm} = 93.61 \text{ kNm} = 9.361 \text{ tm}$$

$$M_d = 93.61 \text{ kNm} > M_u = 85.21 \text{ kNm} \rightarrow \text{Verifica}$$

La sección propuesta es satisfactoria.

5.4.- Cambiar arriostramientos cubierta según la figura

Por la configuración L_b puede tomar dos valores
 $L_{b1} = 3 \times 1.275 \text{ m} = 3.825 \text{ m}$ (zona lateral) o
 $L_{b1} = 2 \times 1.275 \text{ m} = 2.550 \text{ m}$ (zona central)

Se selecciona un I PN 260

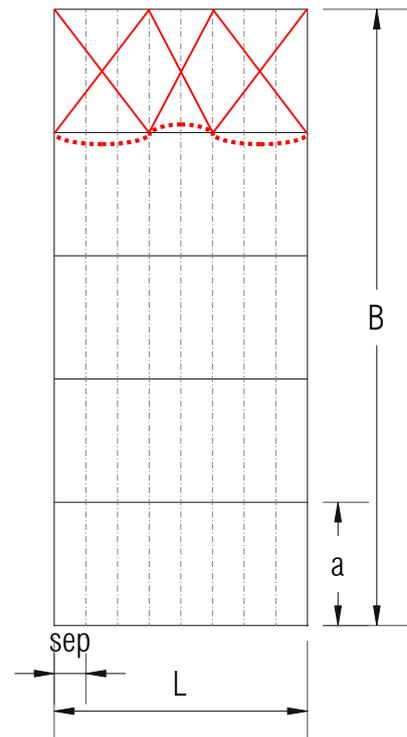
5.4.1.- Plastificación

$$M_p = Z_x \cdot F_y = 514 \text{ cm}^3 \cdot 240 \text{ MPa} \cdot (10^{-3})$$

$$M_p = 123.36 \text{ kNm}$$

5.4.2.- Pandeo Lateral Torsional (PLT)

Se prevé arriostramientos del ala comprimida de acuerdo con el esquema indicado en la figura y lo expresado en el punto anterior.



$$L_p = 1.59 r_y \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad L_r = 1.28 \frac{r_y X_1}{F_L} \quad X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \text{ , en MPa}$$

Para el caso del I PN 260, tenemos:

$$L_p = 107 \text{ cm}; \quad L_r = 428 \text{ cm}$$

a) $L_p = 107 < L_b = 255 < L_r = 428$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_r = F_L S_x (10^{-3})$$

$$F_L = F_y - F_r = 240 - 69 = 171 \text{ MPa (Para secciones laminadas)}$$

$$M_r = 171 \text{ [MPa]} \cdot 442000 \text{ mm}^3 = 75.582 (10^{-6}) \text{ [Nmm]} = 75.582 \text{ [kNm]}$$

$$M_p = 123.36 \text{ kNm}$$

$$L_p = 107 \text{ cm}$$

$$L_r = 428 \text{ cm}$$

$$L_b = 255 \text{ cm}$$

$$C_b = 1.00 \text{ (Para el tramo central de la viga)}$$

$$M_n = 101.33 \text{ kNm} < M_p = 123.36 \text{ kNm}$$

b) $L_p = 107 < L_b = 382.5 < L_r = 428$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad M_r = F_L S_x (10^{-3})$$

$$F_L = F_y - F_r = 240 - 69 = 171 \text{ MPa (Para secciones laminadas)}$$

$$M_r = 171 \text{ MPa} \cdot 442000 \text{ mm}^3 = 75.582 (10^{-6}) \text{ [Nmm]} = 75.582 \text{ [kNm]}$$

$$M_p = 123.36 \text{ kNm}$$

$$L_p = 107 \text{ cm}$$

$$L_r = 428 \text{ cm}$$

$$L_b = 382.5 \text{ cm}$$

$$C_b = 1.30 \text{ (Para el tramo lateral de la viga)}$$

$$M_n = 107.06 \text{ kNm} < M_p = 123.36 \text{ kNm}$$

5.4.3.- Pandeo Local del Ala (PLF)

Por las condiciones de la geometría local se trata de una sección compacta y podría alcanzar el Momento de Plastificación sin pandear.

5.4.4.- Pandeo Local del Alma (PLW)

Por las condiciones de la geometría local se trata de una sección compacta y podría alcanzar el Momento de Plastificación sin pandear.

5.4.5.- Resumen

5.4.5.1.- E.L. Plastificación	→	$M_n = 123.36 \text{ kNm}$
5.4.5.2.- E.L. PLT	→	$M_n = 101.33 \text{ kNm}$
5.4.5.3.- E.L. PLF	→	$M_n = 123.36 \text{ kNm}$
5.4.5.4.- E.L. PLW	→	$M_n = 123.36 \text{ kNm}$

La viga planteada con una sección I PN 260, tendrá la resistencia nominal dada por el Pandeo Lateral Torsional

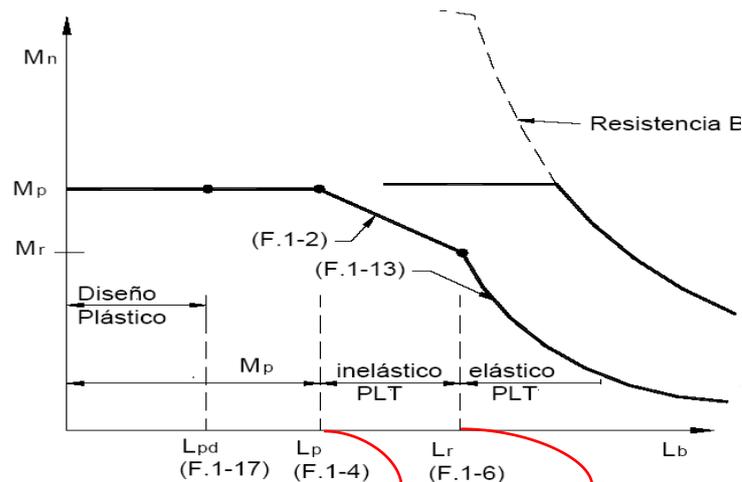
$$M_n = 101.33 \text{ kNm}$$

$$M_d = \phi \cdot M_n = 0.90 \cdot 101.33 \text{ kNm} = 91.20 \text{ kNm} = 9.120 \text{ tm}$$

$$M_d = 91.20 \text{ kNm} > M_u = 85.21 \text{ kNm} \rightarrow \text{Verifica}$$

La sección propuesta es satisfactoria.

5.5.- Resumen de alternativas



Condición	Perfil	Peso	$M_n = M_p$	M_n	$M_n = M_{cr}$
Sin arriostramientos $L_b = 10,20 \text{ m}$	I PN 360	76.10			109.47
Sección compuesta	I PN 260 + UPN180	55.02			104.11
Con arriostramientos. $L_b = 5.10$	I PN 280	47.90			104.02
Con arriostramientos $L_b = 2.55 \text{ y } 3.825 \text{ m}$	I PN 260	41.60		101.33	
Totalmente arriostrada	I PN 240	36.20	98.88		

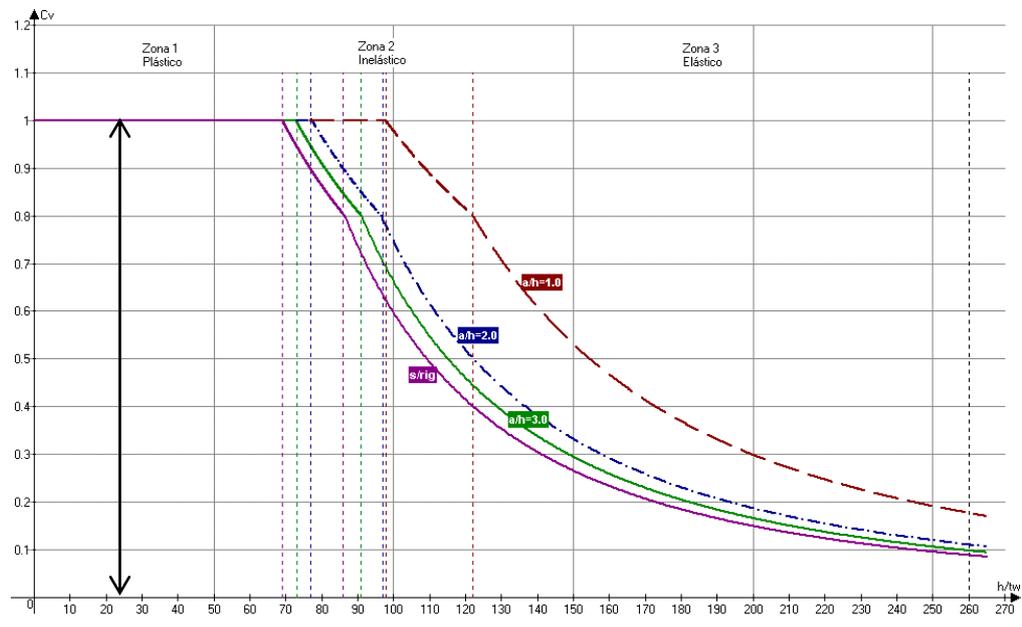
6.- Verificación al corte

De las combinaciones se había determinado que $V_u = 33.41$ kN

Según la esbeltez del alma se pueden presentar distintos modos de falla por corte.

Control de esbeltez	V_n
$\lambda_w > 260$	→ Ver Vigas de Alma Esbelta (Cap. G)
$89 < \lambda_w < 260$	→ $V_n = 91304 \cdot A_w / (\lambda_w)^2$
$71 < \lambda_w < 89$	→ $V_n = 1023 \cdot A_w / (\lambda_w)$
$\lambda_w < 71$	→ $V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot (10^{-1})$

Diseño al corte



En el gráfico se representan las expresiones normalizadas como $C_v = V_n/V_y$ en función de la esbeltez del alma λ_w/t_w . Una curva es el caso sin rigidizadores (s/rig) y las otras tres con rigidizadores con diferente relación de aspecto ($a/h = 1, 2$ y 3).

	I PN 240	I PN 260	I PN 280	I PN 360
h [mm]	240	260	280	360
h_w [mm]	192	208	225	290
t_w [mm]	8.7	9.4	10.1	13.0
A_w [cm ²]	20.88	24.4	28.3	46.8
λ_w	22.06	22.12	22.3	22.3
Control	$\lambda_w < 71$	$\lambda_w < 71$	$\lambda_w < 71$	$\lambda_w < 71$
V_n [kN]	300.6	351.9	407	674
En todas las secciones analizadas se cumple que $\lambda_w < 71$				

El caso más desfavorable corresponde al perfil 240, $V_n = 300.6$ kN

$$V_d = \phi \cdot V_n = 0.90 \cdot 300.6 \text{ kN} = 270.54 \text{ kN} = 27.054 \text{ t}$$

$$\mathbf{V_d = 270.54 \text{ kN} < V_u = 33.41 \text{ kN} \rightarrow \text{Verifica}}$$

7.- Estado Límite de Servicio (Capítulo y Apéndice L)

Se establecen dos condiciones: una para la carga total y otra sólo para la carga variable. Para nuestro caso de cubierta industrial flexible los límites son:

Flecha total (para la carga total) = $L/150 = 1020/150 = 6.8 \text{ cm} = 68.0 \text{ mm}$

Flecha (sólo para la carga variable) = $L/180 = 1020/180 = 5.67 \text{ cm} = 56.7 \text{ mm}$

Para todas las opciones de perfiles ensayadas se resumen los resultados en la siguiente tabla:

Flecha		I PN 240	I PN 260	I PN 280	I PN 260 + UPN 180	I PN 360
f1	Valor [mm]	72.5	53.7	40.6	35.0	15.4
	L / ...	141	190	251	291	662
f2	Valor [mm]	51.1	37.9	28.7	24.8	10.9
	L / ...	200	270	355	411	936

El único perfil que no verifica es el I PN 240 para el caso de carga total. Todas las otras opciones son válidas. Si se evalúa solo el peso de la viga, la última opción es la más conveniente. Para un análisis más completo debería incluirse los arriostramientos y una unión en cada extremo.

8.- Conclusión

Condición	Perfil	Peso	Mn = Mp	Mn	Mn = Mcr
Sin arriostramientos Lb = 10,20 m	I PN 360	76.10			109.47
Sección compuesta	I PN 260 + UPN180	55.02			104.11
Con arriostramientos. Lb = 5.10	I PN 280	47.90			104.02
Con arriostramientos Lb = 2.55 y 3.825 m	I PN 260	41.60		101.33	

9.- Otras opciones

Se pueden plantear otras opciones en la resolución de los componentes flexionados

1. Viga armadas con chapas soldadas o abulonadas
2. Vigas armadas o laminadas con agregado de platabandas de cobertura
3. Vigas de altura variable
4. Vigas alveolares



CIRSOC 301: REGLAMENTO ARGENTINO DE ESTRUCTURAS DE ACERO PARA EDIFICIOS

Extracto del índice de capítulos referidos a flexión

CAPÍTULO F: VIGAS Y OTRAS BARRAS EN FLEXIÓN

- F.1. Dimensionamiento a flexión
- F.2. Dimensionamiento a corte
- F.3. Barras con alma de altura variable
- F.4. Vigas y Vigas armadas de alma esbelta, con almas
- F.5. Dimensionamiento a flexión de barras de ángulo
- F.6. Dimensionamiento a corte de barras de ángulo simple

APÉNDICE F: VIGAS Y OTRAS BARRAS EN FLEXIÓN

- A-F.1. Dimensionamiento a flexión
- A-F.2. Dimensionamiento a corte
- A-F.3. Barras con almas de altura variable

CAPÍTULO G: VIGAS ARMADAS DE ALMA ESBELTA

APÉNDICE G: VIGAS ARMADAS DE ALMA ESBELTA

- A-G.1. Limitaciones
 - A-G.2. Resistencia de diseño a flexión
 - A-G.3. Resistencia de diseño al corte con acción del campo de tracción
 - A-G.4. Rigidizadores transversales
 - A-G.5. Interacción entre flexión y corte
-