



Asignatura: Tecnologías y Sustentabilidad I: Tecnologías Regionales

Carrera: Doctorado en Arquitectura y Urbanismo

UAI-UFLO-UCU 2018 Buenos Aires

**Dra Ing. María Alexandra Sosa Zitto
Directora e Investigadora Grupo G.E.M.A**

**Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Concepción del Uruguay
Entre Ríos- Argentina**

Clase: martes 11-09-2018

An aerial photograph of a vast, flat landscape under a clear blue sky with scattered white clouds. The foreground and middle ground are dominated by a dense, green forest. In the distance, there are patches of lighter-colored land, possibly fields or pastures, and a few small structures. A large, semi-transparent orange rectangle is centered over the forest, containing the title text.

CIRSOC 601

REGLAMENTO ARGENTINO DE ESTRUCTURAS DE MADERA

EJEMPLOS RESUELTOS : MADERA LAMINADA ENCOLADA ESTRUCTURAL

Tabla 5.3-1 Factores de ajuste aplicables para madera laminada encolada estructural

Tensiones y módulo de elasticidad	Factores de ajuste aplicables								
$F'_b = F_b$	X	C_D	C_M	C_t	C_L	C_V	C_c	C_r	-
$F'_t = F_t$	X	C_D	C_M	C_t	-	-	-	-	-
$F'_v = F_v$	X	C_D	C_M	C_t	-	-	-	-	-
$F'_{c\perp} = F_{c\perp}$	X	C_D	C_M	C_t	-	-	-	-	-
$F'_c = F_c$	X	C_D	C_M	C_t	-	-	-	-	C_p
$F'_{rt} = F_{rt}$	X	C_D	C_M	C_t	-	-	-	-	-
$E' = E$	X	-	C_M	C_t	-	-	-	-	-
$E'_{0,05} = E_{0,05}$	X	-	C_M	C_t	-	-	-	-	-
$E'_{min} = E_{min}$	X	-	C_M	C_t	-	-	-	-	-

Tabla S.2.1.1-1. Valores de diseño de referencia para madera laminada encolada estructural de las especies incluidas en la norma IRAM 9660-1 (2015) (N/mm²)

Especie	Grado de resistencia	F_b	F_t	F_v	$F_{c\perp}$	F_c	F_{rt}	E	$E_{0,05}$	E_{min}
Pino taeda y elliotti ⁽¹⁾	1	6,3	3,5	0,7	0,9	6,3	0,1	11200	7500	4700
	2	4,1	2,3	0,4	0,8	4,1	0,1	6700	4500	2800
Pino Paraná ⁽²⁾	1	7,5	4,1	0,8	1,0	7,5	0,1	13400	9000	5700
	2	6,3	3,5	0,7	0,9	6,3	0,1	11600	7800	4900
Eucalipto grandis ⁽³⁾	1	7,5	4,1	0,8	1,8	7,5	0,1	13400	9000	5700
	2	6,6	3,7	0,8	1,7	6,6	0,1	11600	7800	4900
Álamo ⁽⁴⁾	1	6,3	3,5	0,7	0,9	6,3	0,1	9400	6300	4000
	2	5,6	3,2	0,6	0,9	5,6	0,1	8500	5700	3600

(1) *Pinus taeda y elliottii* cultivado en las provincias de Misiones y Corrientes, (2) *Araucaria angustifolia* cultivado en la provincia de Misiones, (3) *Eucalyptus grandis* cultivado en las provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones, (4) *Populus deltoides* ('Australiano 129/60' y 'Stoneville 67') cultivado en el delta del río Paraná.

Para: $C_D = 1,15$ y $C_M = C_t = 1$							
L_e/d	$\lambda_{i,ef}$	Pino taeda/elliottii Tabla S.2.1.1-1		Pino Paraná Tabla S.2.1.1-1		Eucalipto grandis Tabla S.2.1.1-1	
		Grado 1	Grado 2	Grado 1	Grado 2	Grado 1	Grado 2
≤ 4	≤ 14	1	1	1	1	1	1
5	17	1	0,99	1	1	1	1
6	21	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
7	24	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
8	28	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
9	31	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
10	35	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
11	38	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
12	42	0,97	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97
13	45	0,96	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96
14	48	0,95	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95
15	52	0,94	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94
16	55	0,93	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93
17	59	0,91	0,90	0,91	0,92	0,91	0,91
18	62	0,89	0,88	0,90	0,90	0,90	0,89
19	66	0,87	0,85	0,88	0,88	0,88	0,87
20	69	0,85	0,83	0,85	0,86	0,85	0,85
21	73	0,82	0,80	0,83	0,84	0,83	0,82
22	76	0,79	0,76	0,80	0,81	0,80	0,79
23	80	0,76	0,73	0,77	0,78	0,77	0,76
24	83	0,73	0,69	0,74	0,75	0,74	0,73
25	87	0,69	0,66	0,70	0,71	0,70	0,69
26	90	0,66	0,62	0,67	0,68	0,67	0,66
27	94	0,63	0,59	0,63	0,65	0,63	0,62
28	97	0,59	0,55	0,60	0,61	0,60	0,59
29	100	0,56	0,52	0,57	0,58	0,57	0,56
30	104	0,53	0,49	0,54	0,55	0,54	0,53
31	107	0,50	0,47	0,51	0,52	0,51	0,50
32	111	0,48	0,44	0,48	0,49	0,48	0,48
33	114	0,45	0,42	0,46	0,47	0,46	0,45
34	118	0,43	0,40	0,44	0,45	0,44	0,43
35	121	0,41	0,38	0,41	0,42	0,41	0,41
36	125	0,39	0,36	0,39	0,40	0,39	0,39
37	128	0,37	0,34	0,37	0,38	0,37	0,37
38	132	0,35	0,32	0,36	0,36	0,36	0,35

M.5.E.1 Miembro curvo sometido a flexión y compresión longitudinal

Datos:

- *Miembro curvo que constituye la mitad de un pórtico triarticulado construido con madera laminada encolada estructural de Pino Paraná (*Araucaria angustifolia*), grado de resistencia 1 de acuerdo con la norma IRAM 9660-1 (2015).*
- El espesor de las láminas empleadas (t) es igual a **21 mm**, el cual satisface el límite superior establecido para la relación t/R en la norma IRAM 9660-1 (2015), siendo R el radio de curvatura (ver también la Figura M.5.E.1-1).

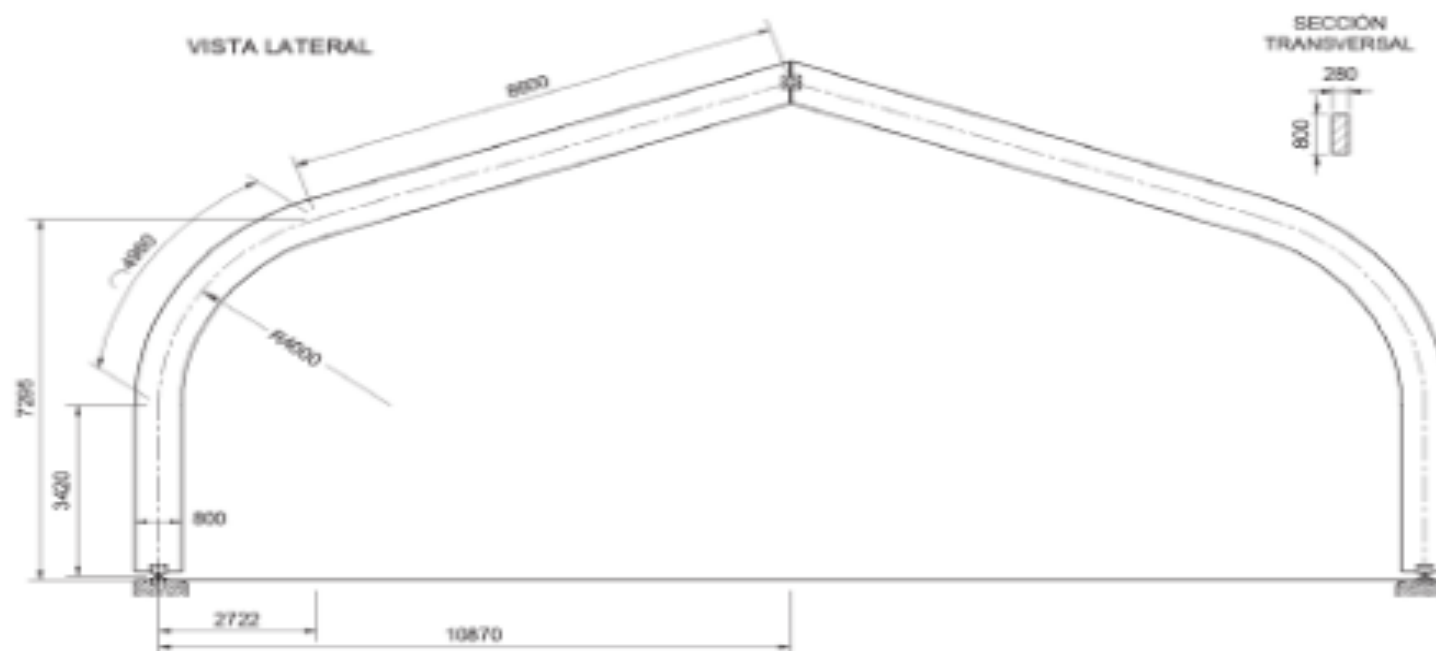


Figura M.5.E.1-1
(dimensiones en mm)

- **Dimensiones de la sección transversal:** $d_1 = 280$ mm y $d_2 = 800$ mm (la mayor dimensión, lograda con **38 láminas de 21 mm de espesor**, es la contenida en el plano del pórtico).
- Las secciones transversales del miembro curvo se encuentran impedidas de rotar y de desplazarse lateralmente en toda su longitud, en razón de que arriostramientos transversales se lo impiden. Un esquema general puede apreciarse en la Figura M.5.E.1-1.

A través de un análisis estático simplificado (de primer orden), basado en un comportamiento lineal y considerando el equilibrio del sistema estático indeformado, se obtuvieron los diagramas de los esfuerzos.

En este caso particular es de interés verificar la acción conjunta del momento flector (**M**) y del esfuerzo normal (**N**) en la sección transversal ubicada en la mitad de la longitud curva del miembro. Los valores calculados debido a la acción del peso propio (**D**) son: **M** = -45 kNm y **N** = -20 kN (compresión), y debido a la acción de la nieve (**S**) son: **M** = -65 kNm y **N** = -28 kN (compresión).

Condición de servicio: estructura colocada en estado seco en ambiente interior.

Objetivos:

- a) desarrollar el proceso de cálculo para un miembro estructural curvo de madera laminada encolada estructural sometido a flexión y compresión longitudinal, empleando el método simplificado considerado en el artículo 9.4.
- b) en particular, analizar la influencia de la curvatura sobre las tensiones y sobre la resistencia a flexión

Desarrollo:

P = -20 kN – 28 kN = -48 kN (esfuerzo axial de compresión)

M = -45 kNm – 65 kNm = -110 kNm (momento flector)

$$\left(\frac{f_c}{F'_{c1}} \right)^2 + \frac{f_{b1}}{F'_{b1} [1 - (f_c / F_{cE1})]} \leq 1$$

Debiendo verificarse que:

$$f_c < F_{cE1} = \frac{0,822 E'_{min}}{(\ell_{e1} / d_1)^2}$$

$$A = 280 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} = 224000 \text{ mm}^2$$

$$f_c = P / A = 48000 \text{ N} / 224000 \text{ mm}^2 = 0,2 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$E'_{min} = E_{min} \times C_M \times C_t \text{ (Tabla 5.3-1)}$$

$$E_{min} = 5700 \text{ N} / \text{mm}^2 \text{ (Tabla S.2.1.1-1)}$$

$$C_M \times C_t = 1 \text{ (debido a la condición de servicio en clima interior, artículo 5.3.)}$$

$$E'_{min} = 5700 \text{ N} / \text{mm}^2 \times 1 \times 1 = 5700 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Para el diseño se ha empleado el método simplificado, considerando el equilibrio de la estructura indeformada (ver los datos de este ejemplo y el artículo 9.4.). Con el fin de determinar la longitud efectiva de pandeo (ℓ_{e1}) del miembro estructural en el plano del pórtico, el mismo puede ser interpretado como un arco triarticulado. En consecuencia, puede considerarse con suficiente aproximación que $\ell_{e1} \approx 1,25 \ell$ donde ℓ es la longitud del miembro analizado.

$$\ell = 17 \text{ m}$$

$$\ell_{e1} = 1,25 \times 17 = 21,25 \text{ m}$$

$$d_1 = d = 800 \text{ mm}$$

$$\ell_{e1} / d_1 = 26$$

$$F_{cE1} = 6,9 \text{ N} / \text{mm}^2 > f_c = 0,2 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$f_{b1} = (1 + 0,35 d / R + 0,6 d^2 / R^2) \frac{6M}{bd^2} \quad (\text{Exp. 5.1-5})$$

$$R = 4000 \text{ mm (ver la Figura M.5.E.1-1)}$$

$$f_{b1} = (1 + 0,35 \times 800 / 4000 + 0,6 \times 800^2 / 4000^2) \frac{6 \times 110000000 \text{ Nmm}}{280 \times 800^2 \text{ mm}^3}$$

$$f_{b1} = 1,09 \times 3,7 \text{ N} / \text{mm}^2 = 4,0 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$F'_c = F_c \times C_D \times C_M \times C_t \times C_P \text{ (Tabla 5.3-1)}$$

$$F_c = 7,5 \text{ N / mm}^2 \text{ (Tabla S.2.1.1-1)}$$

$$C_D = 1,15 \text{ debido a que la carga de menor duración es la nieve (artículo 5.3. y Tabla 4.3-2)}$$

$$C_M = C_t = 1$$

Comentario: El modo más simple de calcular C_P es utilizando las Tablas auxiliares del artículo M.5.T.2. Ingresando con $L_{e1} / d_1 = 26$ en la Tabla correspondiente a $C_D = 1,15$ y $C_M = C_t = 1$, se encuentra para la madera utilizada: $C_P = 0,67$

$$F'_c = 7,5 \text{ N / mm}^2 \times 1,15 \times 1 \times 1 \times 0,67 = 5,8 \text{ N / mm}^2$$

$$F'_{bt} = F_b \times C_D \times C_M \times C_t \times C_L \times C_V \times C_c \times C_r \text{ (Tabla 5.3-1)}$$

$$F_b = 7,5 \text{ N / mm}^2 \text{ (Tabla S.2.1.1-1)}$$

$C_L = 1$ por existir un arriostramiento continuo que evita el pandeo lateral producido por la flexión (artículos 5.3. y 3.2.1.)

$$C_V = \left(\frac{600}{d} \right)^{0,1} \left(\frac{150}{b} \right)^{0,05} = \left(\frac{600}{800} \right)^{0,1} \left(\frac{150}{280} \right)^{0,05} = 0,94 \leq 1,1$$

$$C_c = 1 - 2000 (t / R)^2 \text{ (Exp. 5.3-2)}$$

$t = 21 \text{ mm}$ (espesor de las láminas empleadas, (ver Datos al inicio del Ejemplo M.5.E.1))

$R = 4,0 \text{ m}$ (radio de curvatura de la cara interna de las láminas, ver la Figura M.5.E.1-1)

$$C_c = 0,94$$

$C_r = 1$ porque no existe la posibilidad de que se produzca una distribución lateral de cargas (artículo 5.3)

$$F'_{bt} = 7,5 \text{ N / mm}^2 \times 1,15 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,94 \times 0,94 \times 1 = 7,6 \text{ N / mm}^2$$

Reemplazando en la Exp. 3.5.2.1 se obtiene:

$$\left(\frac{0,2}{5,8} \right)^2 + \frac{4,0}{7,6[1 - (0,2/6,9)]} = 0,5 < 1$$

y se verifica lo requerido.

3.3.4. Miembros compuestos unidos en celosía

Las siguientes disposiciones son aplicables a miembros compuestos construidos con 2 componentes longitudinales, denominados cordones, unidos entre sí con alguno de los dos tipos de celosía indicados en la Figura 3.3.4-1., y en los cuales se cumplen las siguientes condiciones:

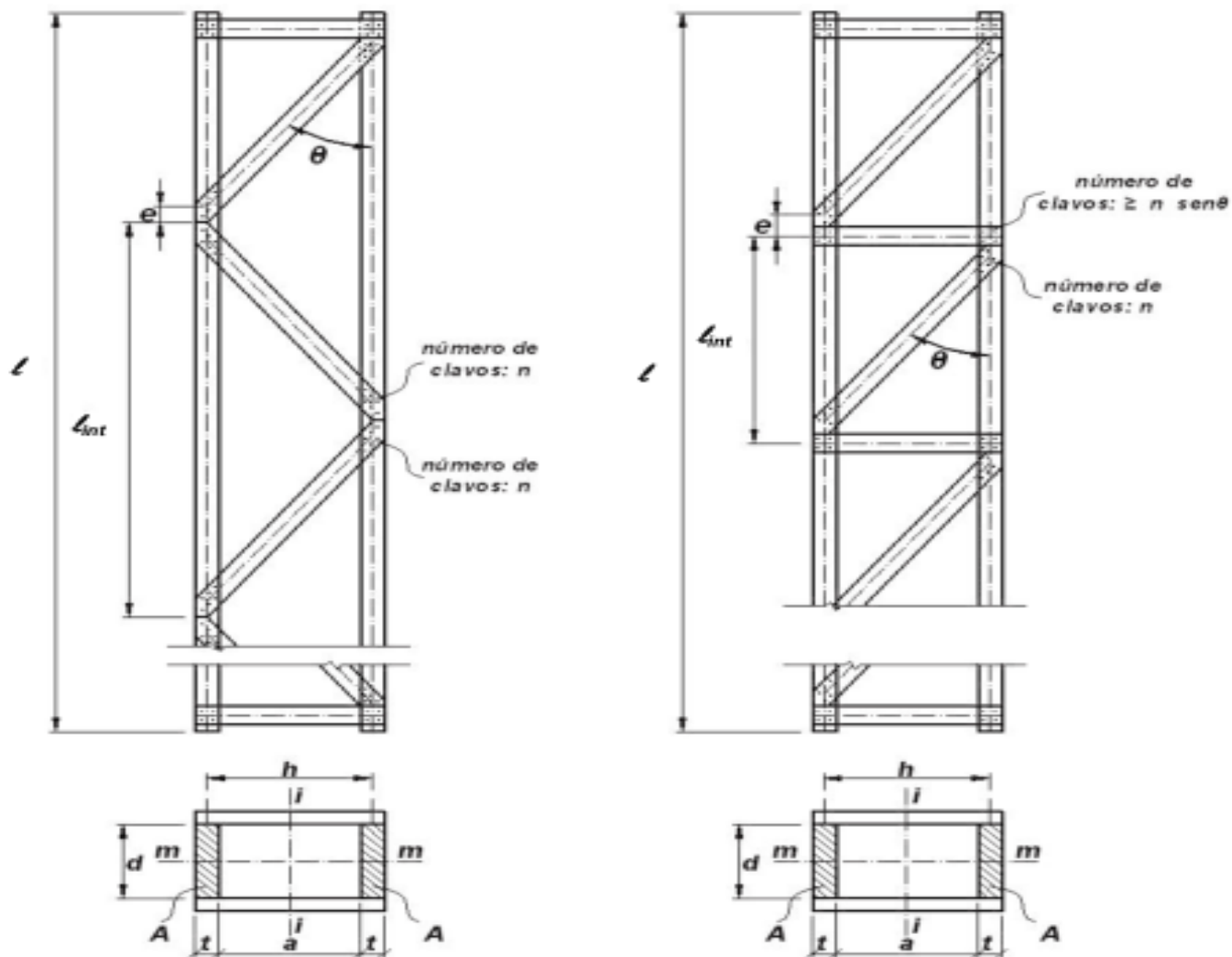


Figura 3.3.4-1. Miembros compuestos unidos en celosía.

- a) los miembros compuestos están articulados en ambos extremos, los cuales están impedidos de desplazarse.
- b) cada cordón es de una sola pieza con la longitud total del miembro compuesto.
- c) la sección transversal tiene dos ejes de simetría. Las celosías pueden estar

desfasadas entre sí una distancia igual a $l_{int} / 2$.

- d) los cordones se encuentran vinculados entre sí al menos en los extremos (ver la Figura 3.3.4-1.) y en los puntos intermedios ubicados en los tercios de su longitud. La esbeltez individual de cada cordón, $\lambda_{cor} = 3,46 l_{int} / t$, no supera el valor de **60**.
- e) las uniones, encoladas con adhesivo estructural, o realizadas con clavos o tirafondos, así como las barras de la celosía, están diseñadas conforme a las disposiciones de este artículo. El número mínimo de clavos o tirafondos en las uniones realizadas entre una diagonal y un cordón será de **4** por cada sección de corte. En cada unión realizada entre un montante y un cordón se deberá disponer al menos la cantidad de clavos o tirafondos colocados en la diagonal multiplicada por el seno del ángulo θ , que mide la inclinación de la diagonal respecto del eje longitudinal del miembro comprimido y debe ser mayor o igual que **30°** (Figura 3.3.4-1).
- f) la carga aplicada es un esfuerzo de compresión, **P**, situado en el centro de gravedad del miembro compuesto.

▪ **Factor de estabilidad lateral del miembro comprimido (C_P)**

La **longitud efectiva de pandeo**, ℓ_e , de un miembro compuesto unido en celosía es igual a su longitud, ℓ , pues sus extremos deben estar articulados.

El factor C_P debe ser determinado respecto del eje que corta los cordones, m-m, y del eje normal al anterior, i-i (Figura 3.3.4-1), y el menor valor de los obtenidos debe ser utilizado para calcular la tensión de diseño en compresión paralela a las fibras ajustada, F_c^* , del miembro estructural. La capacidad del miembro estructural compuesto para tomar esfuerzo de compresión se obtiene multiplicando el valor de F_c^* por el área total de la sección transversal del miembro compuesto, $A_{tot} = 2A$.

El cálculo del factor C_P para el pandeo respecto del eje m-m se debe realizar con la expresión 3.3.2-1. del artículo 3.3.2., utilizando la relación ℓ / d para determinar F_{cE} y haciendo $K_f = 1$.

El cálculo del factor C_P para el pandeo respecto del eje i-i se debe realizar con la expresión 3.3.4-1. indicada a continuación.

$$C_P = \frac{1 + (F_{cE} / F_c^*)}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + (F_{cE} / F_c^*)}{2c} \right]^2 - \frac{F_{cE} / F_c^*}{c}} \quad (3.3.4-1)$$

siendo:

- F_c^* la tensión de diseño en compresión paralela a las fibras de referencia multiplicada por todos los factores de ajuste aplicables, excepto C_P .
- c el coeficiente igual a **0,8** para miembros de madera aserrada y **0,9** para madera laminada encolada estructural.

$$F_{cE} = \frac{9,86E'_{\min}}{(\lambda_{i,ef})^2}$$

$E'_{\min}$ el módulo de elasticidad para el cálculo de la estabilidad, ajustado.

$\lambda_{i,ef} = \lambda_i \sqrt{1 + \chi} \geq 1,05\lambda_i$ la esbeltez mecánica efectiva del miembro compuesto respecto del eje i-i, la cual considera la pérdida de capacidad portante del miembro compuesto en relación a uno macizo con sección transversal de igual área y momento de inercia.

$\lambda_i = \frac{\ell}{\sqrt{\frac{I_{tot}}{A_{tot}}}}$ la esbeltez mecánica del miembro compuesto respecto del eje i-i, sin

considerar la influencia de la distancia entre los cordones y de las uniones sobre la capacidad portante del miembro compuesto. Para relaciones h / t elevadas (ver la Figura 3.3.4-1.), puede tomarse $\lambda_i \cong 2\ell / h$

$I_{tot} = d [(2t + a)^3 - a^3] / 12$ el momento de inercia de la sección transversal total del miembro compuesto respecto del eje i-i .

$A_{tot} = 2A$ el área total de la sección transversal del miembro compuesto.

χ el coeficiente cuyo valor se debe tomar de la Tabla 3.3.4-1.

Tabla 3.3.4-1 Valores del coeficiente χ

Tipo de celosía	Medio de unión	Coeficiente χ
diagonales	adhesivo estructural	$\chi = 4 \frac{e^2 A}{I} \left(\frac{h}{\ell} \right)^2$
	clavos, tirafondos	$\chi = 25 \frac{h E' A}{\ell^2 n (0,67 \gamma) \text{sen } 2\theta}$
diagonales y montantes	adhesivo estructural	$\chi = \frac{e^2 A}{I} \left(\frac{h}{\ell} \right)^2$
	clavos, tirafondos	$\chi = 50 \frac{h E' A}{\ell^2 n (0,67 \gamma) \text{sen } 2\theta}$
siendo: e la excentricidad de las uniones que vinculan en un nudo las barras de la celosía al cordón (Figura 3.3.4-1); A el área de la sección transversal de un cordón; h la distancia entre los baricentros de los cordones; I el momento de inercia de la sección transversal de un cordón respecto de su eje baricéntrico paralelo al eje i-i; E el módulo de elasticidad (valor medio) de la madera; n el número de clavos que vincula cada diagonal con el cordón; γ el módulo de deslizamiento instantáneo calculado con la Exp. 8.2.5-4 u 8.2.5-5 según corresponda; θ el ángulo de inclinación de la diagonal respecto del eje longitudinal del miembro comprimido.		

La relación ℓ/d del miembro estructural compuesto, que tiene influencia sobre el pandeo respecto del eje m-m, no debe exceder el valor de **50**. La esbeltez mecánica efectiva respecto del eje i-i del miembro estructural, $\lambda_{i,ef}$, no debe exceder el valor de **175**.

M.5.E.2 Miembro comprimido compuesto unido en celosía

Datos:

- Verificación del miembro compuesto unido en celosía que se detalla en la Figura M.5.E.2-1.
- Los dos cordones (elementos longitudinales) son de madera laminada encolada de ***Eucalyptus grandis* cultivado en la Mesopotamia**, fabricada siguiendo los requisitos de fabricación y control establecidos en la norma IRAM 9660-1 (2015) con **grado de resistencia 1**.
- Las diagonales están materializadas con tablas de madera aserrada de la misma especie, clase de resistencia 1 según la norma IRAM 9662-2 (2015).
- El miembro compuesto tiene sus extremos articulados e impedidos de desplazarse lateralmente, su longitud es igual a **5,0 m** y posee un arriostramiento transversal en la mitad de su longitud que impide el desplazamiento lateral en dirección perpendicular al **eje m-m**.
- **Carga axial (P) centrada que actúa:** peso propio (**D**) = **-9,7 kN** (compresión), sobrecarga de uso (**L**) = **-20,0 kN** (compresión).
- **Condición de servicio:** miembro compuesto colocado en estado seco en clima interior.
- **Elementos de fijación:** clavos de pequeño diámetro (**2,5 mm**) colocados con pre-perforación.

Objetivos:

- a) verificar la capacidad portante de miembros comprimidos compuestos unidos en celosía.
- b) analizar las disposiciones constructivas y los esfuerzos que deben absorber las diagonales que vinculan las piezas longitudinales.

Desarrollo:

Luego de verificar que se cumplen las condiciones a) a f) expresadas en el artículo 3.3.4, se procede a desarrollar el proceso de cálculo.

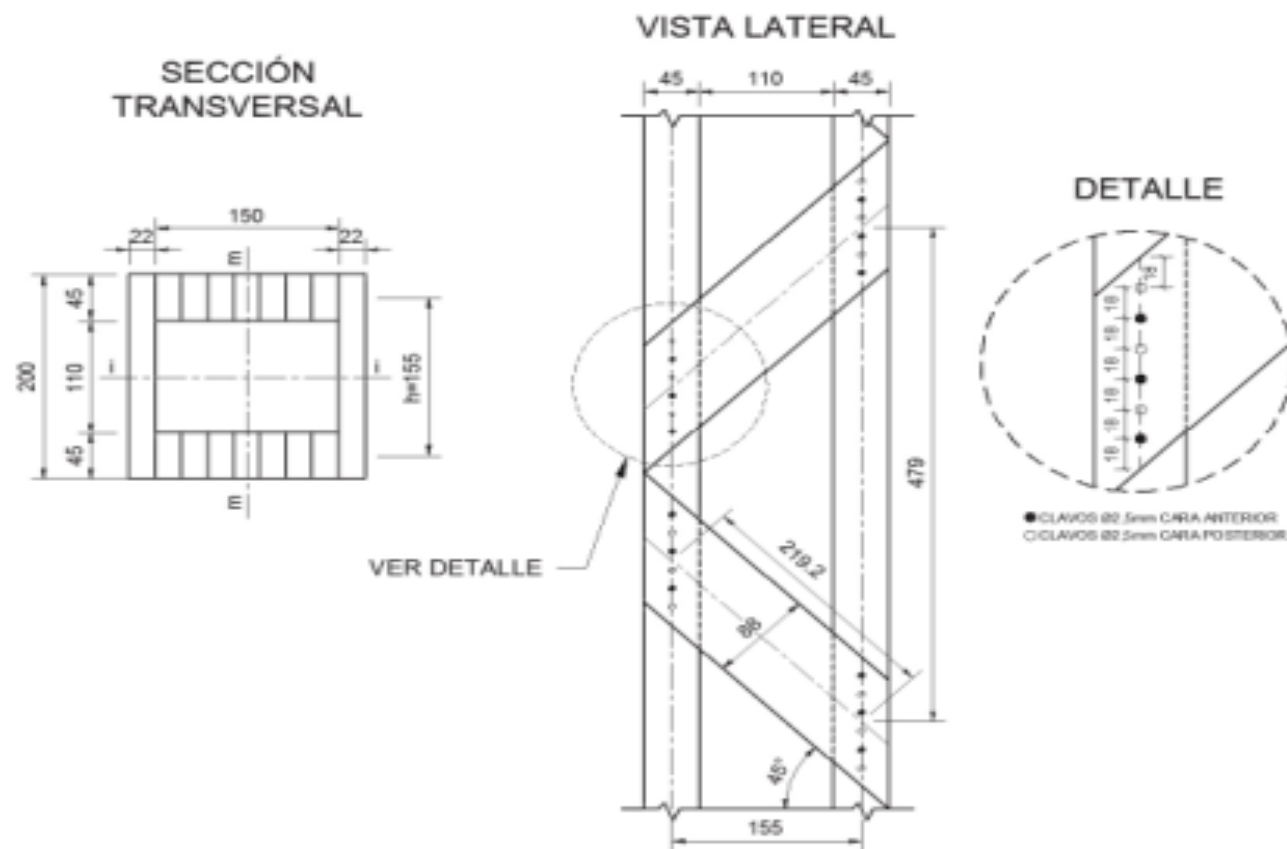


Figura M.5.E.2-1
(dimensiones en mm)

Verificación de la capacidad portante del miembro compuesto comprimido, unido en celosía (artículo 3.3.4.)

Se debe verificar:

$$f_c \leq F'_c$$

$$f_c = P / A_{tot} = (D + L) / (2 A) = 29700 \text{ N} / 13500 \text{ mm}^2 = 2,2 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$F'_c = F_c \times C_D \times C_M \times C_t \times C_P$ (artículo 5.3 y Tabla 5.3-1)

$F_c = 7,5 \text{ N / mm}^2$ (Tabla S.2.1.1-1)

$C_D = 1$ pues la acción de menor duración corresponde a la sobrecarga de uso (**L**) en esta combinación (artículo 5.3.)

C_M y $C_t = 1$ pues el miembro estructural está ubicado en el interior de una nave industrial (artículo 5.3)

Comentario: el miembro estructural que es objeto de análisis en este ejemplo presenta los dos cordones de madera laminada encolada y las diagonales de madera aserrada. A su vez, las uniones entre las partes se materializan con clavos. En consecuencia, el análisis general, que involucra la capacidad portante de los cordones, se desarrolla aplicando las prescripciones del artículo 3.3.4 y del Capítulo 5. El análisis de la celosía, en particular, se lleva a cabo aplicando el criterio del artículo 3.3.4 y del Capítulo 4. Por su parte, las uniones clavadas se verifican de acuerdo con el Capítulo 8.

Según el artículo 3.3.4., el factor C_P debe ser determinado respecto del eje que corta los cordones, **m-m**, y del eje normal al anterior, **i-i**, y el menor valor de los obtenidos debe ser utilizado para calcular la tensión de diseño en compresión paralela a las fibras ajustada, F'_c , del miembro estructural.

Por su parte, como los extremos del miembro compuesto están articulados, su longitud efectiva de pandeo, L_e , respecto del eje **i-i** es igual a **5 m** y la correspondiente al eje **m-m** es igual a **2,5 m** (ver los datos del Ejemplo y la Figura M.5.E.2-1).

Como el cálculo del factor C_P se efectúa con la misma expresión para el pandeo respecto de los dos ejes (ver los artículos 3.3.4 y 3.3.2 así como las expresiones 3.3.4.1 y 3.3.2.1), y el único término que difiere en función del eje que se considera es el que representa la tensión crítica, F_{cE} , el menor valor de C_P corresponderá al eje respecto del cual es menor el valor F_{cE} .

Respecto del eje m-m:

Siendo $E'_{min} = E_{min} \times C_M \times C_1$ (artículo 5.3. y Tabla 5.3-1)

$E_{min} = 5700 \text{ N} / \text{mm}^2$ (Tabla S.2.1.1-1)

$C_M = C_1 = 1$

$E' = E \times 1 \times 1 = 5700 \text{ N} / \text{mm}^2$

y de acuerdo con los artículos 3.3.4. y 3.3.2.:

$$F_{cE} = \frac{0,822 E'_{min}}{\left(\frac{\ell_e}{d}\right)^2} = \frac{0,822 \cdot 5700}{\left(\frac{2500}{150}\right)^2} = 16,9 \text{ N} / \text{mm}^2$$

Respecto del eje i-i:

De acuerdo con el artículo 3.3.4. y la Tabla 3.3.4-1 se obtiene:

$$\lambda_i = \frac{\ell}{\sqrt{\frac{I_{tot}}{A_{tot}}}} = \frac{5000}{78,6} = 64$$

siendo:

$$h = 155 \text{ mm}$$

$$E' = E \times C_M \times C_t \text{ (artículo 5.3. y Tabla 5.3-1)}$$

$$E = 13400 \text{ N / mm}^2 \text{ (Tabla S.2.1.1-1)}$$

$$E' = 13400 \text{ N / mm}^2 \times 1 \times 1 = 13400 \text{ N / mm}^2$$

$$A = 45 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} = 6750 \text{ mm}^2$$

$$n = 6 \text{ (estimación de la cantidad de clavos en cada extremo de una diagonal)}$$

$$\rho_{0,05} = 430 \text{ kg / m}^3 \text{ (Tabla S.1.1.2-4)}$$

$$D = 2,5 \text{ mm (diámetro adoptado para los clavos en las uniones entre las diagonales y los cordones)}$$

$$\gamma = \rho_{0,05}^{1,5} D^{0,8} / 25 = 430^{1,5} \times 2,5^{0,8} / 25 = 742 \text{ N / mm} \quad (\text{Exp. 8.2.5-5})$$

$$\sin 2\theta = \sin 90^\circ = 1$$

$$\chi = 25 \frac{hE'A}{I^2 n (0,67 \gamma) \sin 2\theta} = 25 \frac{155 * 13400 * 6750}{5000^2 * 6 (0,67 * 742) 1} = 4,7$$

$$\lambda_{i,ef} = \lambda_i \sqrt{1 + \chi} = 64 \sqrt{1 + 4,7} = 153 > 1,05 \lambda_i = 67$$

Comentario: es importante observar que el valor de la esbeltez mecánica efectiva ($\lambda_{i,ef} = 153$) es igual a 2,3 veces la esbeltez mecánica del miembro compuesto respecto del eje i-i ($\lambda_i = 64$). Este significativo aumento en la esbeltez que se utiliza para el dimensionamiento tiene en cuenta la pérdida de capacidad portante de esta barra compuesta en relación a una barra equivalente (con igual longitud de pandeo y radio de giro) pero construida con una sola pieza. Es decir que los efectos de la configuración armada elegida (incluyendo las uniones) son tenidos en cuenta a través del aumento de su esbeltez, lo que redundará en una disminución del factor C_P y consecuentemente de la capacidad portante.

$$F_{cE} = \frac{9,86 E' \min}{(\lambda_{i,ef})^2} = \frac{9,86 * 5700}{153^2} = 2,4 \text{ N / mm}^2$$

Comentario: como el valor de F_{cE} es menor respecto del eje *i-i*, será también menor el valor de C_p respecto de este eje. En consecuencia el ejemplo continuará siendo desarrollado respecto del eje *i-i* pues conduce a la condición de menor resistencia del miembro estructural compuesto. No se considera necesario, por reiterativo, presentar el análisis respecto del eje *m-m*.

Comentario: el miembro comprimido compuesto satisface los requisitos referidos a la máxima esbeltez admitida que se establecen en el artículo 3.3.4. Respecto del eje *m-m* es: $l / d = 2500 / 150 = 17 < 50$. Respecto del eje *i-i* es: $\lambda_{i,ef} = 153 < 175$.

$$C_P = \left[\frac{1 + (F_{cE} / F_c^*)}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + (F_{cE} / F_c^*)}{2c} \right]^2 - \frac{F_{cE} / F_c^*}{c}} \right] \quad (\text{Exp. 3.3.4-1})$$

donde:

$$F_c^* = F_c \times C_D \times C_M \times C_t \text{ (artículo 3.3.4. y Tabla 5.3-1)}$$

$$F_c = 7,5 \text{ N / mm}^2 \text{ (Tabla S.2.1.1-1)}$$

$$F_c^* = 7,5 \text{ N / mm}^2 \times 1 \times 1 \times 1 = 7,5 \text{ N / mm}^2$$

$$c = 0,9 \text{ para madera laminada encolada estructural (artículo 3.3.4. y Exp. 3.3.4-1)}$$

$$C_P = \left[\frac{1 + (2,4 / 7,5)}{1,8} - \sqrt{\left[\frac{1 + (2,4 / 7,5)}{1,8} \right]^2 - \frac{2,4 / 7,5}{0,9}} \right] = 0,31$$

Comentario: se puede observar que el valor de C_P , cuya obtención es laboriosa, se puede obtener directamente de las Tablas con valores auxiliares para el cálculo que se presentan en el artículo M.5.T.2 de este Manual. En efecto, ingresando con $\lambda_{i,ef} = 152 \approx 153$ en la Tabla correspondiente a $C_D = C_M = C_t = 1$ se obtiene $C_P = 0,31$ para la madera laminada encolada de **Eucalyptus grandis Grado 1**.

Entonces:

$$F'_c = F_c \times C_D \times C_M \times C_t \times C_P$$

$$F'_c = 7,5 \text{ N / mm}^2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,31 = 2,3 \text{ N / mm}^2 > f_c = 2,2 \text{ N / mm}^2$$

y se verifica lo requerido

Verificación de las barras de la celosía y las uniones (artículo 3.3.4.)

Las barras de la celosía y las uniones se deben dimensionar para equilibrar el esfuerzo de corte efectivo, $V_{i,ef}$, que debe considerarse cuando se produce el pandeo respecto del eje i-i.

Comentario: las diagonales están construidas con tablas aserradas (ver Datos al inicio del Ejemplo M.5.E.2) y deben tener capacidad de soportar los esfuerzos axiles que provoca el esfuerzo de corte efectivo, $V_{i,ef}$, que debe considerarse cuando se produce el pandeo respecto del eje i-i. Como existirán diagonales comprimidas y traccionadas, el proceso de cálculo debe considerar estos dos estados de sollicitación.

Como se trata de miembros simples, según los artículos 3.3.1. y 3.4.1. se debe verificar que:

$$f_c \leq F'_c \text{ y } f_t \leq F'_t$$

$$f_c = f_t = P / A$$

donde:

$P = V_{i,ef} / 2 \text{ sen } \theta$ (esfuerzo axial en una diagonal)

$A = 88 \text{ mm} \times 22 \text{ mm} = 1936 \text{ mm}^2$ (sección transversal de una diagonal, ver la Figura M.5.E.2-1)

Comentario: las dimensiones de la sección transversal de las diagonales cumplen con lo establecido en el artículo 3.1. que requiere un espesor nominal mínimo de **25 mm** y una sección transversal mínima de **1875 mm²**. En este caso el espesor neto de **22 mm** fue obtenido por cepillado a partir de un espesor nominal de **25 mm**.

como:

$\lambda_{i,ef} = 153 > 60$, según la Exp. 3.3.4-4 resulta:

$$V_{i,ef} = \frac{P}{60 C_P} = \frac{29700}{60 \cdot 0,31} = 1597 \text{ N}$$

entonces:

$$P = V_{i,ef} / 2 \text{ sen } \theta = 1597 / 1,4 = 1129 \text{ N}$$

D: Esfuerzo en la diagonal D

$$f_c = f_t = P / A = 1129 \text{ N} / 1936 \text{ mm}^2 = 0,6 \text{ N} / \text{mm}^2$$

según el artículo 4.3 y la Tabla 4.3-1, pues las diagonales son de madera aserrada:

$$F'_c = F_c \times C_D \times C_M \times C_t \times C_P$$

$$F'_t = F_t \times C_D \times C_M \times C_t \times C_F$$

$$F_c = 7,2 \text{ N} / \text{mm}^2 \text{ (Tabla S.1.1.2-1)}$$

$$F_t = 5,6 \text{ N} / \text{mm}^2 \text{ (Tabla S.1.1.2-1)}$$

$$C_D = C_M = C_t = 1$$

según el artículo 3.3.1:

$$L_e = L = 219 \text{ mm} \text{ (diagonal considerada articulada en el eje de los cordones)}$$

$$L_e / d = L_e / t = 219 / 22 = 10 \text{ (relación de la longitud efectiva de pandeo al lado menor)}$$

$$C_P = 0,96$$

Comentario: El valor de C_P (0,96) se obtuvo directamente de la Tabla correspondiente en el artículo M.4.T.2 ingresando con $L_e / d = 10$

■ Diseño de las barras de la celosía y las uniones

Las barras de la celosía y las uniones se deben dimensionar para equilibrar el esfuerzo de corte efectivo, $V_{i,ef}$, que se debe considerar cuando se produce el pandeo respecto del eje i-i. Éste se debe obtener a partir del esfuerzo de compresión actuante sobre el miembro compuesto, P , con las siguientes expresiones:

$$V_{i,ef} = \frac{P}{120C_P} \quad \text{para } \lambda_{i,ef} \leq 30 \quad (3.3.4-2)$$

$$V_{i,ef} = \frac{P\lambda_{i,ef}}{3600C_P} \quad \text{para } 30 < \lambda_{i,ef} \leq 60 \quad (3.3.4-3)$$

$$V_{i,ef} = \frac{P}{60C_P} \quad \text{para } 60 < \lambda_{i,ef} \quad (3.3.4-4)$$

siendo:

C_P el factor de estabilidad lateral del miembro compuesto para el pandeo respecto del eje i-i.

luego:

$$F'_c = 7,2 \text{ N / mm}^2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,96 = 6,9 \text{ N / mm}^2 > f_c = 0,6 \text{ N / mm}^2$$

y se satisface la verificación de la diagonal cuando está comprimida.

Como, según la expresión 4.3-1 es:

$$C_F = \left(\frac{150}{d} \right)^{0,2} = \left(\frac{150}{88} \right)^{0,2} = 1,11 \leq 1,3$$

$$F'_t = 5,6 \text{ N / mm}^2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,11 = 6,2 \text{ N / mm}^2 > f_t = 0,6 \text{ N / mm}^2$$

y también se satisface la verificación de la diagonal cuando está traccionada.

Comentario: a continuación se realizará la verificación de las uniones clavadas entre las diagonales y los cordones. Como éste no es un objetivo central en el desarrollo del presente ejemplo, el cálculo se lleva a cabo en forma simplificada y efectuando pocos comentarios. Un análisis más detallado del diseño de uniones con elementos de fijación de tipo clavija se presenta en el Ejemplo M.8.E de este Manual.

La resistencia lateral ajustada de la unión (**Z'**) debe ser igual o mayor que la carga lateral aplicada (**z**), es decir:

$$z \leq Z'$$

$$z = P = 1129 \text{ N (esfuerzo axil en una diagonal)}$$

La longitud de los clavos adoptados es igual a 65 mm, entonces se tiene $\ell_s = 22 \text{ mm}$, $\ell_m = 43 \text{ mm}$.

Como $G = 0,40$ (Tabla S.4.1.1-2), $F_e = 21,4 \text{ N / mm}^2$ (Tabla S.4.1.1-1), $F_{yb} = 690 \text{ N / mm}^2$ (Tabla S.4.1.1-3), y se obtiene para un clavo con $D = 2,5 \text{ mm}$ con una sección de corte:

$Z = 199 \text{ N}$ que corresponde al modo IV de rotura (Figura 8.2.1.1-1 y Tabla 8.2.1.1-1)

$$Z' = Z \times C_D \times C_M \times C_t \times C_g \times C_{tn} \times \text{número de clavos}$$

$$C_D = C_M = C_t = 1$$

$$C_g = 1 \text{ pues } D < 6,35 \text{ mm}$$

$$C_{tn} = 1 \text{ pues el clavado no es oblicuo}$$

$$Z' = 199 \text{ N} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 6 = 1194 \text{ N} > 1129 \text{ N}$$

y se satisface lo requerido.

M.5.E.3 Miembro sometido a compresión excéntrica aplicada a través de una ménsula

Datos:

- Verificación de un miembro comprimido de **madera laminada encolada estructural de *Pinus taeda/elliottii*** cultivado en **Misiones**, fabricado siguiendo los requisitos de fabricación y control establecidos en la norma IRAM 9660-1 (2015) con **grado de resistencia 1**.
 - El miembro comprimido tiene sus **extremos articulados e impedidos de desplazarse lateralmente**.
 - Su longitud (l) es igual a **3,8 m** y las dimensiones de su sección transversal son $d_1 = 250 \text{ mm}$ y $d_2 = 120 \text{ mm}$.
-
- La distancia, en dirección vertical, desde el punto de aplicación de la carga en la ménsula hasta el extremo inferior de la columna (l_p) es igual a **3,5 m**.
 - La sección transversal ubicada en el punto medio del miembro comprimido se encuentra impedida de girar y de desplazarse lateralmente en dirección perpendicular al lado d_1 por un arriostramiento incluido en un muro perimetral.
 - Un detalle puede apreciarse en la Figura M.5.E.3-1.
 - Las **cargas actuantes** sobre el miembro estructural están aplicadas sobre una ménsula, a una distancia horizontal respecto del centro de la sección transversal (a) igual a **175 mm**. Carga debida al peso propio (**D**): **-20 kN** (gravitatoria). Sobrecarga de uso (**L**): **-30 kN** (gravitatoria).
 - **Condición de servicio**: miembro estructural colocado en estado seco en ambiente interior.

Objetivo:

Verificar la capacidad portante de un miembro comprimido sometido a una carga excéntrica aplicada a través de una ménsula

Desarrollo:

Comentario: las dos cargas actuantes (**D** y **L**) producen compresión. Considerando la relación entre sus valores resulta en este caso obvio que la combinación crítica, teniendo en cuenta a su vez la incidencia del factor de duración de la carga (**C_D**), es la suma de ambas. Consecuentemente el ejemplo se desarrollará con ambas acciones actuando en forma conjunta. Un análisis pormenorizado orientado a buscar la combinación crítica considerando **C_D** puede verse en el Ejemplo M.4.E.1.

$$P = D + L = -20 \text{ kN} - 30 \text{ kN} = -50 \text{ kN (compresión)}$$

Comentario: De acuerdo con el artículo 3.5.4., el miembro estructural se dimensiona con el método descrito en el artículo 3.5.2. El momento flector actuante sobre la columna, que origina las tensiones **f_b**, se determina considerándola simplemente apoyada en sus extremos y cargada horizontalmente con el valor de **P_s** (Exp. 3.5.4-1). El valor de **f_c** se obtiene a partir de la carga **P** actuando sin excentricidad.

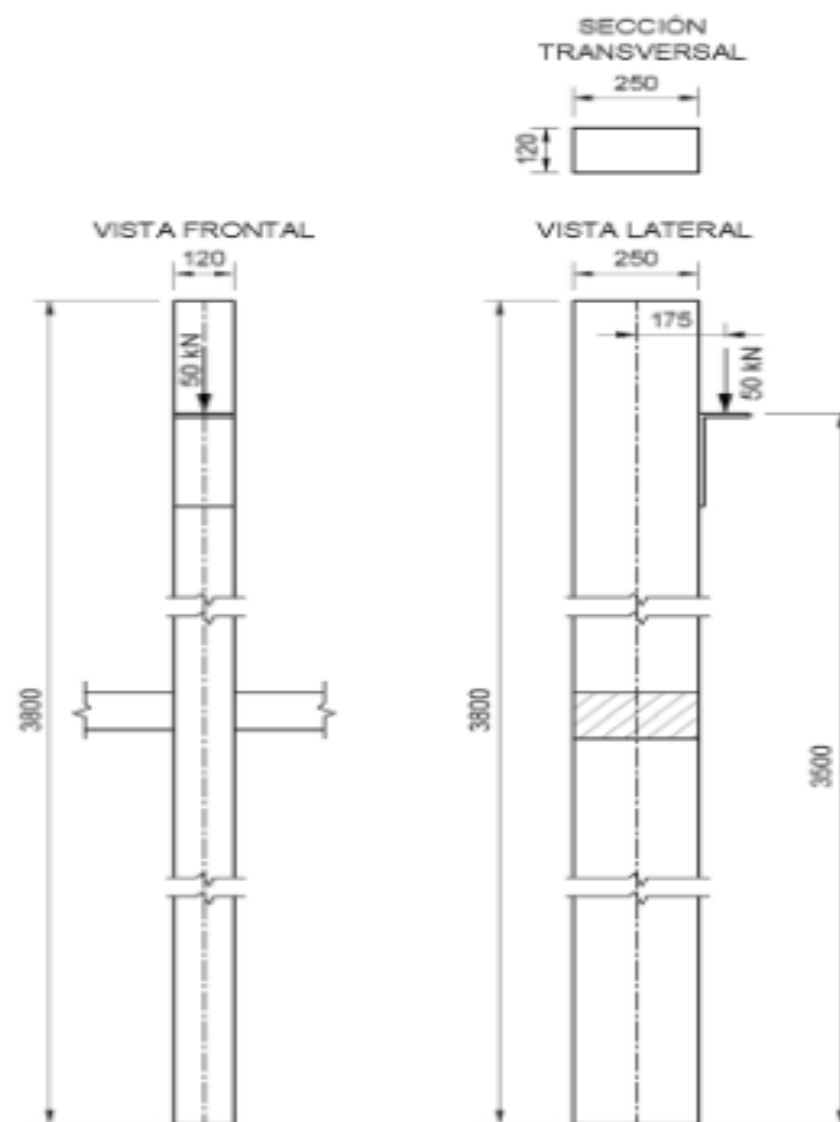


Figura M.5.E.3-1

3.5.4. Compresión excéntrica aplicada a través de una ménsula

Las expresiones 3.5.3-1. y 3.5.3-2. están derivadas para los casos en que la carga excéntrica, P , se encuentre aplicada en el extremo del miembro estructural. Para las situaciones de diseño en las cuales la carga es transmitida a través de una ménsula ubicada en el cuarto superior de la longitud de una columna articulada en sus extremos, se puede asumir que la misma es equivalente a la acción simultánea de la misma carga, P , aplicada centradamente, y de una carga lateral, P_s , actuando a la mitad de la altura de la columna con dirección horizontal (ver la Figura 3.5.4-1.), con un valor igual a:

$$P_s = \frac{3Pa\ell_p}{\ell^2} \quad (3.5.4-1)$$

siendo:

- P la carga actuando sobre la ménsula.
- P_s la carga ficticia horizontal aplicada en la mitad de la altura de la columna.
- a la distancia horizontal desde la carga actuando sobre la ménsula hasta el centro de la sección transversal de la columna.
- ℓ la longitud total de la columna.
- ℓ_p la distancia, en dirección vertical, desde el punto de aplicación de la carga en la ménsula hasta el extremo inferior de la columna.

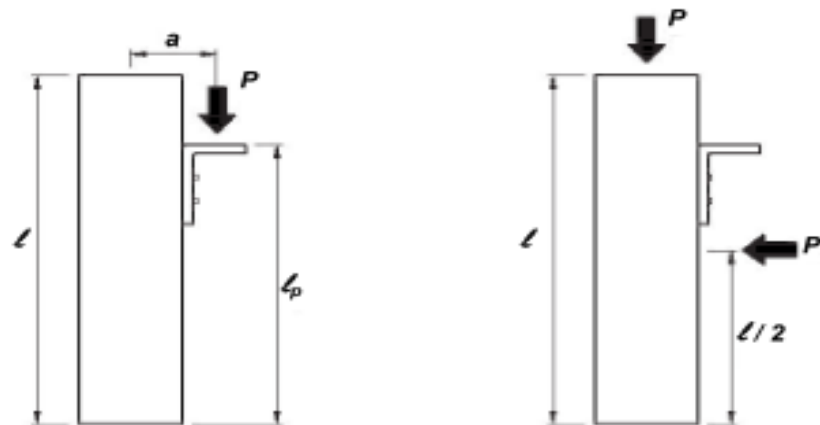


Figura 3.5.4-1. Compresión excéntrica aplicada a través de una ménsula.

Los miembros estructurales que cumplan con las condiciones expuestas en este artículo se pueden dimensionar de acuerdo con el método descrito en el artículo 3.5.2. Para la aplicación de la expresión 3.5.2-1., con el valor calculado de P_s se determina el momento

flector actuante sobre la columna considerada simplemente apoyada en sus extremos, y luego se calcula la tensión f_b originada por el mismo. El valor de f_c se obtiene a partir de la carga P actuando sin excentricidad.

$$A = 120 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} = 30000 \text{ mm}^2$$

$$f_c = P / A = 50000 \text{ N} / 30000 \text{ mm}^2 = 1,7 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$P_s = \frac{3Pa \ell_p}{\ell^2} = \frac{3 \cdot 50 \cdot 0,175 \cdot 3,5}{3,8^2} = 6,4 \text{ kN} \quad (\text{Exp. 3.5.4-1})$$

$$M = P_s \times l / 4 = 6,4 \text{ kN} \times 3,8 \text{ m} / 4 = 6,08 \text{ kNm}$$

$$S = 120 \text{ mm} \times (250 \text{ mm})^2 / 6 = 1250000 \text{ mm}^3$$

$$f_{b1} = M / S = 6080000 \text{ Nmm} / 1250000 \text{ mm}^3 = 4,9 \text{ N} / \text{mm}^2$$

se debe verificar:

$$\left(\frac{f_c}{F'_c} \right)^2 + \frac{f_{b1}}{F'_{b1} [1 - (f_c / F_{cE1})]} + \frac{f_{b2}}{F'_{b2} [1 - (f_c / F_{cE2}) - (f_{b1} / F_{bE})^2]} \leq 1 \quad (\text{Exp. 3.5.2-1})$$

como el soporte está sometido a flexión solamente respecto del eje de mayor momento de inercia, la expresión anterior se reduce a:

$$\left(\frac{f_c}{F'_c} \right)^2 + \frac{f_{b1}}{F'_{b1} [1 - (f_c / F_{cE1})]} \leq 1$$

donde se debe verificar que:

$$f_c < F_{cEt} = \frac{0,822 E'_{min}}{(\ell_{e1} / d_1)^2}$$

$$E'_{min} = E_{min} \times C_M \times C_t \text{ (artículo 5.3. y Tabla 5.3-1)}$$

$$E_{min} = 4700 \text{ N / mm}^2 \text{ (Tabla S.2.1.1-1)}$$

$$C_M = C_t = 1 \text{ (clima interior, artículo 5.3.)}$$

$$E'_{min} = 4700 \text{ N / mm}^2$$

$$\ell_{e1} = 3,8 \text{ m}$$

$$d_1 = 250 \text{ mm}$$

$$F_{cEt} = 0,822 \times 4700 \text{ N / mm}^2 / (3800 / 250)^2 = 16,7 \text{ N / mm}^2 > f_c = 1,7 \text{ N / mm}^2$$

$$F'_c = F_c \times C_D \times C_M \times C_t \times C_P \text{ (Tabla 5.3-1)}$$

$$F_c = 6,3 \text{ N / mm}^2 \text{ (Tabla S.2.1.1-1)}$$

$C_D = 1$ debido a que la carga de menor duración es la sobrecarga de uso (artículo 5.3. y Tabla 4.3-2)

Comentario: El valor de C_P puede obtenerse directamente de las Tablas auxiliares para el cálculo que se presentan en el artículo M.5.T.2 de este Manual. Teniendo en cuenta que el miembro estructural se encuentra arriostrado a mitad de su altura en dirección perpendicular a d_1 , ingresando con la mayor relación entre $\ell_{e1} / d_1 = 3800 \text{ mm} / 250 \text{ mm} \approx 15$ y $\ell_{e2} / d_2 = (3800 \text{ mm} / 2) / 120 \text{ mm} \approx 16$ en la Tabla correspondiente a $C_D = C_M = C_t = 1$, se obtiene, para madera laminada encolada estructural de *Pinus taeda/elliottii*, grado de resistencia 1, el valor $C_P = 0,94$. Si resulta de interés, el cálculo detallado de C_P puede verse en el Ejemplo M.5.E.2.

$$C_P = 0,94$$

$$F'_c = 6,3 \text{ N / mm}^2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,94 = 5,9 \text{ N / mm}^2$$

$$F'_{bt} = F_b \times C_D \times C_M \times C_t \times C_L \times C_V \times C_c \times C_r \text{ (Tabla 5.3-1)}$$

$$F_b = 6,3 \text{ N / mm}^2 \text{ (Tabla S.2.1.1-1)}$$

Comentario: para determinar C_L empleando las Tablas auxiliares para el cálculo que se encuentran en el artículo M.5.T.1, lo cual simplifica el trabajo del Proyectista Estructural, es necesario calcular R_B de acuerdo con la expresión 3.2.1-3. A su vez, y con el fin de determinar ℓ_u (Tabla 3.2.1-1), es necesario considerar que el miembro tiene un arriostramiento lateral en los extremos y en el centro, y que es en este punto donde se considera actuando la carga concentrada horizontal P_s que produce el momento.

$$\ell_w = \ell / 2 = 1,9 \text{ m (artículo 3.2.1.)}$$

$$\ell_u = 1,11 \ell_w = 2,11 \text{ m (Tabla 3.2.1-1)}$$

$$R_B = \sqrt{\frac{\ell_u d}{b^2}} = \sqrt{\frac{2110 \cdot 250}{120^2}} = 6,1 < 50$$

$$C_V = \left(\frac{600}{d}\right)^{0,1} \left(\frac{150}{b}\right)^{0,05} = 1,1$$

$C_c = C_r = 1$ por tratarse de un elemento recto y porque no existe la posibilidad de que se produzca una distribución lateral de cargas, respectivamente (artículo 5.3.)

Comentario: en las Tablas auxiliares incluidas en el artículo M.5.T.1 se presentan resultados para $C_M = C_t = 1$ y distintos valores de $C_D \times C_V \times C_c \times C_r$. En este ejemplo todos los factores de carga son iguales a 1 con excepción de C_V que es igual a 1,1. En consecuencia, C_L puede estimarse por interpolación lineal entre los resultados correspondientes a $C_D \times C_V \times C_c \times C_r = 1$ y $C_D \times C_V \times C_c \times C_r = 1,15$. La observación de las tablas correspondientes, ingresando con $R_B = 6,1$ y el material empleado, indica que $C_L = 1$.

Entonces:

$$F'_{bf} = 6,3 \text{ N / mm}^2 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1,1 \times 1 \times 1 = 6,9 \text{ N / mm}^2$$

Reemplazando en la Exp. 3.5.2.1

$$\left(\frac{1,7}{5,9}\right)^2 + \frac{4,9}{6,9[1 - (1,7 / 16,7)]} = 0,87 < 1$$

y se verifica lo requerido.

Tabla 3.2.1-1. Longitud efectiva de pandeo lateral (ℓ_e)

Viga en voladizo ⁽¹⁾	Para $\ell_e / d < 7$	Para $\ell_e / d \geq 7$
Carga uniformemente distribuida	$\ell_e = 1,33 \ell_e$	$\ell_e = 0,90 \ell_e + 3 d$
Carga concentrada en el extremo	$\ell_e = 1,87 \ell_e$	$\ell_e = 1,44 \ell_e + 3 d$
Viga simplemente apoyada ^(1,2)	Para $\ell_e / d < 7$	Para $\ell_e / d \geq 7$
Carga uniformemente distribuida	$\ell_e = 2,06 \ell_e$	$\ell_e = 1,63 \ell_e + 3 d$
Carga concentrada en el centro sin arriostramientos laterales intermedios	$\ell_e = 1,80 \ell_e$	$\ell_e = 1,37 \ell_e + 3 d$
Carga concentrada en el centro con arriostramiento lateral en el centro	$\ell_e = 1,11 \ell_e$	
2 cargas concentradas iguales en puntos a 1/3 de la luz con arriostramientos en esos puntos	$\ell_e = 1,68 \ell_e$	
3 cargas concentradas iguales en puntos a 1/4 de la luz con arriostramientos en esos puntos	$\ell_e = 1,54 \ell_e$	
4 cargas concentradas iguales en puntos a 1/5 de la luz con arriostramientos en esos puntos	$\ell_e = 1,68 \ell_e$	
5 cargas concentradas iguales en puntos a 1/6 de la luz con arriostramientos en esos puntos	$\ell_e = 1,73 \ell_e$	
6 cargas concentradas iguales en puntos a 1/7 de la luz con arriostramientos en esos puntos	$\ell_e = 1,78 \ell_e$	
7 o más cargas concentradas iguales igualmente espaciadas con arriostramientos en los puntos de aplicación	$\ell_e = 1,84 \ell_e$	
Momentos extremos iguales	$\ell_e = 1,84 \ell_e$	
(1) Para vigas simplemente apoyadas o en voladizo con cargas no contempladas en esta Tabla: para $\ell_e / d < 7$: $\ell_e = 2,06 \ell_e$ para $7 \leq \ell_e / d < 14,3$: $\ell_e = 1,63 \ell_e + 3 d$ para $\ell_e / d \geq 14,3$: $\ell_e = 1,84 \ell_e$ (2) Para vigas continuas los valores se deben adoptar de Tablas específicas o se deben determinar a través de un análisis estructural.		

La **relación de esbeltez lateral de la viga**, cuyo valor no debe exceder de **50**, debe ser determinada con la siguiente expresión:

$$R_s = \sqrt{\frac{\ell_e d}{b^2}} \quad (3.2.1-3)$$