

DISEÑO DE PIEZAS DE MADERA EN FLEXIÓN

CIRSOC 601

2020

COMBINACIÓN DE ACCIONES

1. $(D + F) + \sum L_i \text{ ó } W \text{ ó } T$
2. $(D + F) + 0,7 [(\sum L_i + W) \text{ ó } (W + T) \text{ ó } (\sum L_i + T)]$
3. $(D + F) + 0,6\sum L_i + 0,6W + 0,6T$

con $\sum L_i = (L + L_r + S + R + H)$

- D** las acciones permanentes debidas al peso propio de la estructura, de todo componente de construcción previsto con carácter permanente (Reglamento CIRSOC 101–2005) y de maquinarias adheridas a la estructura y con peso definido. Dentro de estas acciones se deben considerar las originadas por deformaciones impuestas de carácter permanente.
- F** las acciones permanentes debidas a líquidos con presiones definidas y presencia continuada.
- L** las acciones variables debidas a la ocupación, al uso y montaje en pisos (Reglamento CIRSOC 101-2005). Acciones variables térmicas generadas por equipamientos o funcional, no derivadas de especificaciones normativas. Acciones variables debidas a líquidos, granos o materiales sueltos. Acciones variables debidas a maquinarias y equipos incluyendo las cargas móviles y los efectos dinámicos. Acciones variables debidas al efecto dinámico producido por maquinarias cuyo peso constituye una carga permanente.

COMBINACIÓN DE ACCIONES

1. $(D + F) + \sum L_i \text{ ó } W \text{ ó } T$
2. $(D + F) + 0,7 [(\sum L_i + W) \text{ ó } (W + T) \text{ ó } (\sum L_i + T)]$
3. $(D + F) + 0,6\sum L_i + 0,6W + 0,6T$

con $\sum L_i = (L + L_r + S + R + H)$

L_r las acciones variables en techos debidas al uso, montaje y mantenimiento (Reglamento CIRSOC 101–2005).

S las acciones variables debidas a la nieve y el hielo (Reglamento CIRSOC 104-2005).

R las acciones variables debidas al agua de lluvia o el hielo sin considerar los efectos producidos por la acumulación de agua (Reglamento CIRSOC 101–2005).

H las acciones variables debidas al peso y el empuje lateral del suelo y del agua contenida en el mismo.

W las acciones variables debidas al viento (Reglamento CIRSOC 102-2005).

T las acciones variables debidas a deformaciones impuestas sin carácter permanente, tales como la contracción y expansión originadas por variaciones térmicas o en el contenido de humedad.

CONDICIÓN DE RESISTENCIA

$$f_b \leq F'_b$$

$$f_b = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{S}$$

$$F'_b = F_b \times C_D \times C_M \times C_t \times C_L \times C_F \times C_r$$

MADERA MACIZA

$$F'_b = F_b \times C_D \times C_M \times C_t \times C_L \times C_V \times C_C \times C_r$$

MADERA LAMINADA

$$F'_b = F_b \times C_D \times C_t \times C_r$$

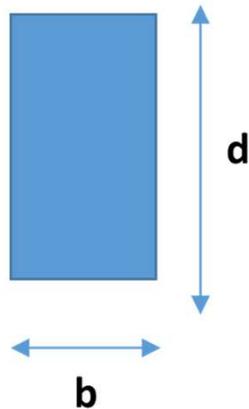
SECCIÓN CIRCULAR

FACTOR DE ESTABILIDAD LATERAL

C_L

Con apoyos impedidos de rotar y desplazarse y arriostramiento continuo en el borde comprimido

→ $C_L = 1,0$



$d \leq b$ → $C_L = 1,0$

$d > b$ y $1 < d/b \leq 2$ Con apoyos impedidos de rotar y desplazarse → $C_L = 1,0$

$d/b > 2$ → C_L según Art. 3.2.1 CIRSOC 601

$$C_L = \frac{1 + (F_{bE} / F_b^*)}{1,9} - \sqrt{\left[\frac{1 + (F_{bE} / F_b^*)}{1,9} \right]^2 - \frac{F_{bE} / F_b^*}{0,95}}$$

$F_{bE} = \frac{1,2E'_{min}}{R_B^2}$ la tensión crítica de pandeo en miembros flexionados.

F_b^* la tensión de diseño en flexión de referencia multiplicada por todos los factores de ajuste aplicables, excepto C_L .

E'_{min} el módulo de elasticidad para el cálculo de la estabilidad, ajustado, el cual se obtiene multiplicando el valor del módulo de elasticidad para el cálculo de la estabilidad de vigas y columnas de referencia, E_{min} , por todos los factores de ajuste aplicables.

RELACIÓN DE ESBELTEZ LATERAL DE LA VIGA $R_B = \sqrt{\frac{l_e d}{b^2}} \leq 50$

l_u Mayor separación entre arriostramientos laterales

l_e Longitud efectiva de pandeo lateral según Tabla 3.2.1-1

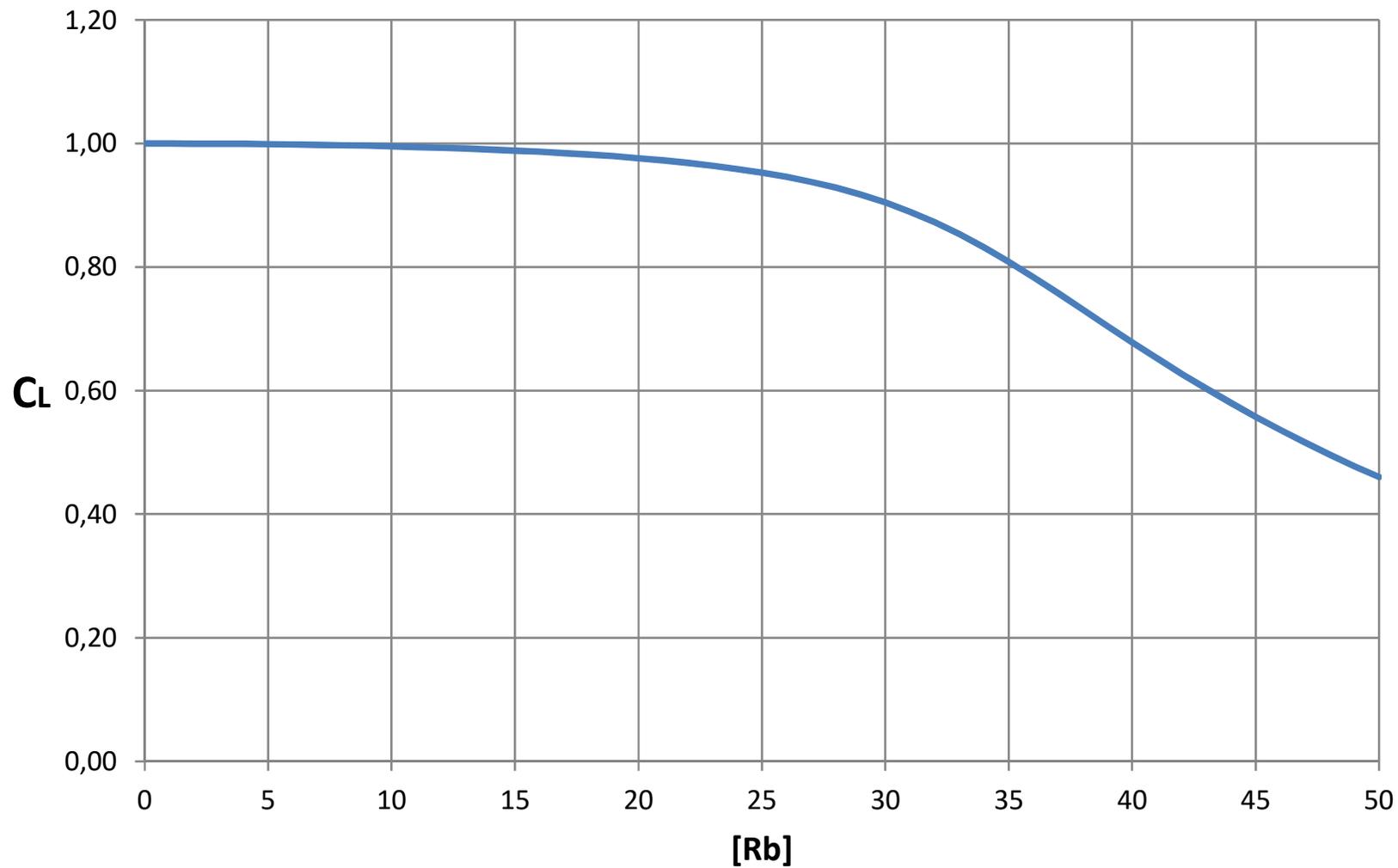
Tabla 3.2.1-1. Longitud efectiva de pandeo lateral (ℓ_e)

Viga en voladizo ⁽¹⁾	Para $\ell_u / d < 7$	Para $\ell_u / d \geq 7$
Carga uniformemente distribuida	$\ell_e = 1,33 \ell_u$	$\ell_e = 0,90 \ell_u + 3 d$
Carga concentrada en el extremo	$\ell_e = 1,87 \ell_u$	$\ell_e = 1,44 \ell_u + 3 d$
Viga simplemente apoyada ^(1,2)	Para $\ell_u / d < 7$	Para $\ell_u / d \geq 7$
Carga uniformemente distribuida	$\ell_e = 2,06 \ell_u$	$\ell_e = 1,63 \ell_u + 3 d$
Carga concentrada en el centro sin arriostramientos laterales intermedios	$\ell_e = 1,80 \ell_u$	$\ell_e = 1,37 \ell_u + 3 d$
Carga concentrada en el centro con arriostramiento lateral en el centro	$\ell_e = 1,11 \ell_u$	
2 cargas concentradas iguales en puntos a 1/3 de la luz con arriostramientos en esos puntos	$\ell_e = 1,68 \ell_u$	
3 cargas concentradas iguales en puntos a 1/4 de la luz con arriostramientos en esos puntos	$\ell_e = 1,54 \ell_u$	
4 cargas concentradas iguales en puntos a 1/5 de la luz con arriostramientos en esos puntos	$\ell_e = 1,68 \ell_u$	
5 cargas concentradas iguales en puntos a 1/6 de la luz con arriostramientos en esos puntos	$\ell_e = 1,73 \ell_u$	
6 cargas concentradas iguales en puntos a 1/7 de la luz con arriostramientos en esos puntos	$\ell_e = 1,78 \ell_u$	
7 o más cargas concentradas iguales igualmente espaciadas con arriostramientos en los puntos de aplicación	$\ell_e = 1,84 \ell_u$	
Momentos extremos iguales	$\ell_e = 1,84 \ell_u$	

TABLA 3.2.1-1 (continuación)

- (1) Para vigas simplemente apoyadas o en voladizo con cargas no contempladas en esta Tabla:
- para $l_u/d < 7$: $l_e = 2,06 l_u$
 - para $7 \leq l_u/d < 14,3$: $l_e = 1,63 l_u + 3 d$
 - para $l_u/d \geq 14,3$: $l_e = 1,84 l_u$
- (2) Para vigas continuas los valores se deben adoptar de Tablas específicas o se deben determinar a través de un análisis estructural.

Factores C_L (Flexión)



CONDICIÓN DE RIGIDEZ

$$\Delta_f = K_{cr} \Delta_{i(LD)} + \Delta_{i(CD)}$$

Δ_f la deformación final

$\Delta_{i(LD)}$ la deformación instantánea producida por las cargas permanentes y de larga duración.

$\Delta_{i(CD)}$ la deformación instantánea producida por las cargas de corta duración.

K_{cr} el factor de deformación dependiente del tiempo, cuyo valor es:

1,5 para vigas de madera aserrada, laminada encolada, vigas prefabricadas y madera compuesta estructural, cargadas en estado seco y cuya condición de servicio corresponda al estado seco, tal como se define en los capítulos correspondientes.

2,0 para vigas de madera aserrada o madera laminada encolada estructural cargadas en estado seco y cuya condición de servicio en obra se corresponda al estado húmedo, tal como se define en los Capítulos 4 y 5.

2,0 para paneles estructurales utilizados en una condición de servicio correspondiente al estado seco, tal como se define en el capítulo correspondiente.

3,0 para vigas de madera aserrada o de sección transversal circular, cargadas en estado verde y que secan bajo carga.

Nota: Si el fabricante de vigas prefabricadas de madera compuesta y de tableros provee valores de K_{cr} superiores a los indicados, se deberán considerar los provistos por el fabricante. A su vez, en caso de que el fabricante autorice el empleo de estos materiales en una condición de servicio que determine en ellos un contenido de humedad igual o superior al **16 %**, el Proyectista Estructural deberá solicitar al fabricante la provisión de los valores que correspondan para K_{cr} .

Tabla 3.2.3-1 Deformaciones admisibles recomendadas para las vigas

Destino de la construcción	Deformación instantánea originada por las cargas variables	Deformación final neta originada por la totalidad de las cargas
Viviendas y oficinas	$\Delta_{i(V)} \leq \ell / 360$ (voladizos $\ell / 180$)	$\Delta_{fnet(TC)} \leq \ell / 300$ (voladizos $\ell / 150$)
Comercio, recreación e institucional	$\Delta_{i(V)} \leq \ell / 360$ (voladizos $\ell / 180$)	$\Delta_{fnet(TC)} \leq \ell / 240$ (voladizos $\ell / 120$)
Construcciones industriales o rurales con bajo factor de ocupación	-	$\Delta_{fnet(TC)} \leq \ell / 200$ (voladizos $\ell / 100$)
siendo: ℓ la luz de cálculo de la viga; $\Delta_{i(V)}$ la deformación instantánea producida por las cargas variables; $\Delta_{fnet(TC)}$ la deformación final neta producida por la totalidad de las cargas.		

CONTROL DE VIBRACIONES

$$f_0 = \frac{\pi}{2\ell^2} \sqrt{\frac{E'I}{m_{ua}}} > 8\text{Hz} \quad (3.2.3-2)$$

siendo:

- ℓ la luz de cálculo (en m).
- E' el módulo de elasticidad ajustado (en N / m²).
- I el momento de inercia de la sección transversal de los miembros resistentes existentes en una franja de entrepiso con ancho igual a 1 m (m⁴ / m = m³).
- m_{ua} la masa del entrepiso por unidad de área (kg / m² = Ns² / m³).

A su vez, la *deformación instantánea* producida por una carga concentrada de **1 kN** ubicada en el centro del vano, $\Delta_{i(1kN)}$, no debería exceder los límites indicados en la expresión 3.2.3-3:

$$\Delta_{i(1kN)} \leq 7,5 / \ell^{1,2} \text{ mm} \leq 1,5 \text{ mm} \quad (3.2.3-3)$$

siendo:

- ℓ la luz de cálculo expresada en metros.

VERIFICACIÓN AL CORTE

3.2.2. Miembros flexionados – Esfuerzos de corte

▪ Resistencia al corte paralelo a la dirección de las fibras (corte horizontal)

La **tensión de corte paralela a la dirección de las fibras**, f_v , producida por el esfuerzo de corte actuante, V , no debe exceder en ningún caso la tensión de diseño en corte paralelo a las fibras ajustada, F'_v . No se requiere una comprobación de las tensiones de corte en dirección perpendicular a las fibras.

$$f_v = \frac{VQ}{Ib} \quad (3.2.2-1)$$

En el caso particular de vigas con sección transversal maciza rectangular, de ancho b y altura d , la expresión anterior se transforma en:

$$f_v = \frac{3V}{2bd} \quad (3.2.2-2)$$

siendo:

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

$$Q = \frac{bd^2}{8}$$

Dimensionar las correas y la viga del entrepiso para dormitorio de la figura.



Datos:

Correas: $l = 3\text{m}$ $\text{sep} = 0,60\text{m}$

Viga: $L = 6\text{m}$

Madera: Pino Elliotti procedente del noreste argentino
Clase de Resistencia 1

Tipo: a) Aserrada
b) Laminada

ANÁLISIS DE CARGAS

Alfombra..... $0,03 \text{ kN/m}^2$

Fenólico $e=15\text{mm}$ $0,07 \text{ kN/m}^2$

Aislante termoacústico.... $0,03 \text{ kN/m}^2$

Machimbre $e=16\text{mm}$ $0,08 \text{ kN/m}^2$

Correas..... $0,04 \text{ kN/m}^2$

$D = 0,25 \text{ kN/m}^2$

$L = 2,00 \text{ kN/m}^2$

COMBINACIÓN DE ACCIONES

1. $(D + F) + \sum L_i \text{ ó } W \text{ ó } T$
2. $(D + F) + 0,7 [(\sum L_i + W) \text{ ó } (W + T) \text{ ó } (\sum L_i + T)]$
3. $(D + F) + 0,6\sum L_i + 0,6W + 0,6T$

con $\sum L_i = (L + L_r + S + R + H)$

1. $D + L = 0,25 + 2,00 = 2,25 \text{ kN/m}^2 \quad q = 2,25 \text{ kN/m}^2 \times 0,6 \text{ m} = 1,35 \text{ kN/m}$
2. $D + 0,7 \times L = 0,25 + 0,7 \times 2,00 = 1,65 \text{ kN/m}^2$
3. $D + 0,6 \times L = 0,25 + 0,6 \times 2,00 = 1,45 \text{ kN/m}^2$

$$M = q \times \frac{l^2}{8} = \frac{135 \text{ kg}}{\text{m}} \times \frac{(3 \text{ m})^2}{8} = 152 \text{ kgm}$$

CONDICIÓN DE RESISTENCIA

$$f_b \leq F'_b$$

$$f_b = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{S}$$

CAPÍTULO 4: $F'_b = F_b \times C_D \times C_M \times C_t \times C_L \times C_F \times C_r$

MADERA ASERRADA

CAPÍTULO 5: $F'_b = F_b \times C_D \times C_M \times C_t \times C_L \times C_V \times C_C \times C_r$

MADERA LAMINADA

DISEÑO EN MADERA ASERRADA

Tabla S.1.1.3-1. Valores de diseño de referencia para tablas de pino taeda y elliottii (N/mm²) clasificadas por resistencia conforme a la norma IRAM 9662-3 (2015)

Clase de resistencia	$F_b^{(1)}$	F_t	F_v	$F_{c\perp}$	F_c	E	$E_{0,05}$	E_{min}
1	5,6	3,4	0,6	0,9	5,6	10300	6900	4400
2	3,4	2,2	0,4	0,8	4,6	6000	4000	2600

(1) Flexión de plano

DISEÑO EN MADERA ASERRADA

FACTORES DE AJUSTE

Tabla 4.3-1. Factores de ajuste aplicables para madera aserrada

Tensiones y módulo de elasticidad	Factores de ajuste aplicables							
$F'_b = F_b$	X	C_D	C_M	C_t	C_L	C_F	C_r	-
$F'_t = F_t$	X	C_D	C_M	C_t	-	C_F	-	-
$F'_v = F_v$	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
$E' = E$	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	-	-	-	-

DISEÑO EN MADERA ASERRADA

FACTORES DE AJUSTE

Tabla 4.3-2. Factor de duración de la carga (C_D)

Duración de la carga	C_D	Ejemplo de carga
Permanente	0,9	Peso propio
10 años (duración normal)	1,0	Sobrecarga de uso ⁽¹⁾
2 meses	1,15	Nieve ⁽²⁾
7 días	1,25	Constructiva
10 minutos	1,6	Viento, sismo
Instantánea	2,0 ⁽³⁾	Carga accidental

(1) Si bien las sobrecargas de uso son generalmente consideradas como cargas de larga duración, el Proyectista Estructural puede evaluarlas particularmente en cada caso para la aplicación de C_D . Un análisis detallado puede proporcionar información que permita diferenciar aquellas sobrecargas que se corresponden con una duración acumulada de **10 años** durante la vida útil de la estructura, como generalmente sucede con las cargas almacenadas en depósitos o con un porcentaje de la sobrecarga de uso, de aquellas que tienen una duración acumulada mucho menor. Las sobrecargas en cubiertas solo accesibles para mantenimiento, así como un porcentaje de la sobrecarga de uso en locales de viviendas, a modo de ejemplo, constituyen casos en los cuales la duración acumulada suele ser inferior a **10 años** durante la vida útil de la estructura. En estos casos, el Proyectista Estructural puede adoptar un valor mayor que **1** para C_D , con el fin de evitar un diseño demasiado conservador,

(2) Dependiendo de la zona,

(3) Valores de C_D mayores que **1,6** no se deben aplicar a uniones (excepto cuando su capacidad portante sea determinada por partes metálicas u otros materiales), y a miembros estructurales de madera impregnada con preservantes o a tratamientos químicos de protección contra el fuego.

PARA ESTADOS COMBINADOS DEBE TOMARSE EL FACTOR DE DURACIÓN DE LA CARGA CORRESPONDIENTE A LA CARGA DE MENOR DURACIÓN

DISEÑO EN MADERA ASERRADA

FACTORES DE AJUSTE

- **Factor de condición de servicio (C_M)**

Todos los valores de diseño de referencia, para las tensiones y el módulo de elasticidad, especificadas en el Suplemento 1 de este Reglamento están referidos a un **contenido de humedad en servicio** que corresponde a los miembros estructurales ubicados en locales ventilados o espacios semicubiertos (estado seco). En esta condición el contenido de humedad promedio anual es menor que el **16 %** y en ningún caso sobrepasa un máximo de **19 %**.

Cuando **la madera se utilice en estado verde** (contenido de humedad igual o superior al de saturación de las fibras) o la condición de servicio determine que el contenido de humedad indicado en el párrafo anterior será superado durante la vida útil de la estructura, como es el caso de miembros estructurales ubicados en locales o espacios húmedos, o en contacto con el suelo, o a la intemperie en regiones húmedas (estado húmedo), **los valores de diseño de referencia se deberán multiplicar por el factor de condición de servicio, C_M** (ver Tabla 4.3-1.). Los valores de C_M se indican en la Tabla 4.3-3.

Tabla 4.3-3. Valores de C_M

F_b	F_t	F_v	$F_{c\perp}$	F_c	$E, E_{0,05}$ y E_{min}
0,85 ⁽¹⁾	1,0	0,97	0,67	0,8 ⁽²⁾	0,9
(1) Para $F_b \leq 7,9 \text{ N/mm}^2$, $C_M = 1,0$ (2) Para $F_c \leq 5,2 \text{ N/mm}^2$, $C_M = 1,0$					

DISEÑO EN MADERA ASERRADA

FACTORES DE AJUSTE

Teniendo en cuenta que el aumento de temperatura disminuye la resistencia de la madera, pero también disminuye la humedad, por lo que aparece un aumento de resistencia debido a ello, se pueden utilizar los valores de diseño de referencia para las tensiones y el módulo de elasticidad, que corresponden al material cuando $T \leq 40 \text{ }^\circ\text{C}$.

También se pueden aplicar sin modificación cuando la temperatura supere ocasionalmente, y por períodos breves de tiempo, $40 \text{ }^\circ\text{C}$, sin sobrepasar $65 \text{ }^\circ\text{C}$. En estas condiciones se encuentra la mayoría de las estructuras normales en las cuales se debe tomar $C_t = 1,0$

Tabla 4.3-4. Factor de temperatura (C_t)

Tensiones y módulo de elasticidad	Condición de servicio en estado:	C_t		
		$T \leq 40 \text{ }^\circ\text{C}$	$40 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 52 \text{ }^\circ\text{C}$	$52 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 65 \text{ }^\circ\text{C}$
$F_t, E, E_{0,05}, E_{\min}$	cualquiera	1,0	0,9	0,9
$F_b, F_v, F_c, F_{c\perp}$	seco	1,0	0,8	0,7
	húmedo	1,0	0,7	0,5

DISEÑO EN MADERA ASERRADA

FACTORES DE AJUSTE

▪ Factor de tamaño (C_F)

Las tensiones de diseño de referencia en flexión, F_b , y en tracción paralela a las fibras, F_t , especificadas en el Suplemento 1 de este Reglamento están referidas a la dimensiones de referencia. La altura de referencia en flexión y el ancho de referencia en tracción para madera aserrada serán iguales a **150 mm**.

$$C_F = \left(\frac{150}{d} \right)^{0,2} \leq 1,3 \quad (4.3-1)$$

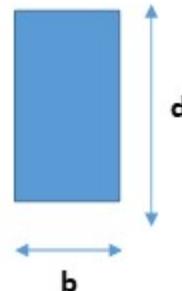
siendo:

- d** la altura de una sección sometida a flexión o la mayor dimensión transversal de una sección sometida a tracción paralela a las fibras, expresada en mm.

Para obtener este factor de ajuste se necesita predimensionar la sección transversal:

Se adopta: $b = 7\text{ cm}$ $d = 16\text{ cm}$

CF = 0,99



DISEÑO EN MADERA ASERRADA

FACTORES DE AJUSTE

■ Factor de distribución lateral de cargas (C_r)

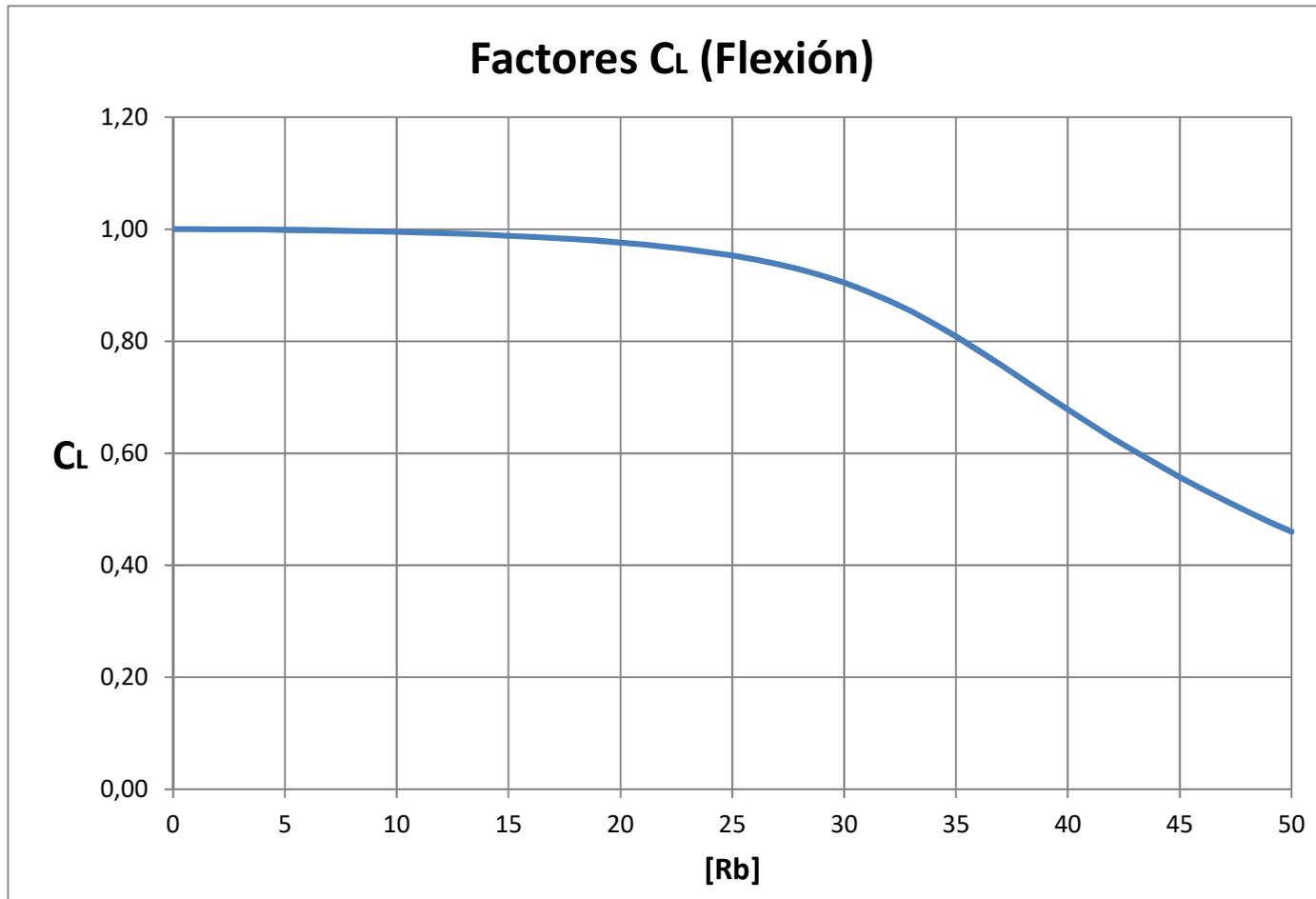
Cuando un conjunto de miembros estructurales con separaciones iguales o similares se encuentre lateralmente conectado a través de un sistema continuo que asegure la distribución de las cargas, la resistencia de diseño de referencia en flexión, F_b , se podrá multiplicar por el factor de distribución lateral de cargas, C_r (ver la Tabla 4.3-1).

Para que el sistema permita la distribución lateral de las cargas, ***sus miembros deben estar calculados para resistir tanto las cargas permanentes como las variables***. A su vez, cada miembro estructural que forma parte del mismo debe ser continuo en al menos dos vanos y las juntas se deben disponer contrapeadas. Casos típicos son los constituidos por las estructuras de techos o entrepisos en los cuales las correas o los entablados conforman el sistema de distribución lateral y en general satisfacen los requisitos antes descritos.

Si no se utilizan métodos más precisos de cálculo, para los casos indicados se debe tomar $C_r = 1,10$. En el caso de que no existan las condiciones previamente descritas es $C_r = 1$.

DISEÑO EN MADERA ASERRADA

FACTORES DE AJUSTE



RELACIÓN DE ESBELTEZ LATERAL DE LA VIGA $R_B = \sqrt{\frac{l_e d}{b^2}} \leq 50$

Para la correa $C_L = 1$ por estar el cordón superior arriostrado por el machimbre

Para la viga es $l_e = 1,68 \times 0,6\text{m} = 1,01\text{m}$