

CAPITULO G.3

DISEÑO DE ELEMENTOS SOLICITADOS POR FLEXION

G.3.1 – GENERAL

G.3.1.1 - El diseño de elementos o miembros a flexión seguirá los mismos procedimientos básicos usados en el diseño de vigas de otros materiales estructurales.

G.3.1.2 - En el diseño de elementos o miembros a flexión se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- (a) Flexión, incluyendo estabilidad lateral
- (b) Cortante
- (c) Deflexión
- (d) Aplastamiento

G.3.1.3 - Debe evitarse, en lo posible, practicar cajas y perforaciones en las vigas; de requerirse, deberán detallarse en los planos y cumplir con las siguientes limitaciones:

- (a) No será permitido practicar cajas en la zona de tensión de elementos cuyo ancho real sea igual o mayor a 100 mm.
- (b) El límite para la profundidad de las cajas en las aristas superior o inferior será de $1/6$ de la altura total de la viga. En caso de ser superado este límite, el diseño deberá realizarse con la altura neta de la viga.
- (c) En vigas con apoyo simple la caja deberá localizarse entre la cara del apoyo y el punto que corresponda a $1/6$ de la luz.
- (d) Cuando el apoyo sea restringido, la caja deberá localizarse entre las abscisas que corresponden a $1/8$ y $1/3$ de la luz.
- (e) Las perforaciones con diámetro no mayor de $1/4$ de la altura total de la viga, pueden ser localizadas en los tercios medios de su altura y de su luz.
- (f) La distancia entre los bordes de perforaciones no será menor que la altura del elemento y la distancia entre el borde de una perforación y el borde del elemento no será menor que $d/6$.

G.3.1.4 - En vigas cuya altura sea mayor que su ancho deberá investigarse la necesidad de proveer soporte lateral a las zonas comprimidas del elemento, según las siguientes recomendaciones:

Si $d/b = 2$ no se requerirá soporte lateral

Si $d/b = 3$ se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos.

Si $d/b = 4$ se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y del borde en compresión mediante correas o viguetas.

Si $d/b = 5$ se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y proveer soporte continuo del borde en compresión mediante un entablado.

G.3.2 – FLEXION

G.3.2.1 - Para el caso de vigas con apoyo simple, la luz de diseño será considerada como la luz libre entre caras de soportes adicionada de dos veces la altura de la viga.

G.3.2.2 - Para el caso de vigas continuas, la luz de diseño será la distancia centro a centro de apoyos.

G.3.2.3 - Los esfuerzos máximos de tensión y de compresión producidos por flexión, serán determinados para la sección de máximo momento. Estos no deberán exceder al máximo esfuerzo admisible en flexión F_b , para el grupo de madera estructural especificado, modificado por los coeficientes de duración de carga, tamaño, forma y esbeltez según el caso.

G.3.2.4 - Los coeficientes de modificación de los esfuerzos admisibles, particulares para flexión, son los indicados a continuación.

G.3.2.4.1 - Coeficiente de tamaño - Cuando la altura de un elemento rectangular que trabaja a flexión sea mayor de 300 mm, el esfuerzo admisible para flexión F_b deberá multiplicarse por el coeficiente C_F calculado con la siguiente fórmula:

$$C_F = \left(\frac{300}{h} \right)^{1/9} \quad (G.3-1)$$

en donde:

- C_F = coeficiente de modificación por tamaño
- h = altura de la viga en mm

Para vigas con sección circular de diámetro mayor de 350 mm, el coeficiente C_F se determinará con base en una sección cuadrada equivalente. El coeficiente C_F puede acumularse con los coeficientes de duración de carga enumerados en G.2.2.2.1.

G.3.2.4.2 - Coeficiente de forma - El esfuerzo admisible modificado en flexión para los siguientes elementos deberá ser el valor que resulte de multiplicar el esfuerzo admisible de la tabla G.2.1 por el coeficiente de forma C_r determinado como sigue:

Sección de la viga	C_r
Circular	1.180
Cuadrada (con diagonal vertical)	1.414
Vigas cajón y vigas I	$0.81 \left[1 + \left(\frac{h^2 + 92\,300}{h^2 + 56\,800} - 1 \right) g \right]$

en donde:

- C_r = coeficiente de forma
- g = coeficiente de soporte = $p^2(6 - 8p + 3p^2)(1 - q) + q$
- h = altura de la viga en mm
- p = relación entre la altura de la aleta a compresión y la altura total de la viga
- q = relación entre el espesor del nervio o nervios y el ancho total de la viga

El coeficiente C_r no debe acumularse con el coeficiente de tamaño C_F .

G.3.2.4.3 - Coeficiente de esbeltez - Es posible que la esbeltez del elemento obligue a reducir el esfuerzo admisible de flexión. El parámetro que mide la esbeltez de una viga se calcula según la fórmula siguiente :

$$C_{sv} = \sqrt{\frac{F_c h}{b^2}} \quad (G.3-2)$$

en donde:

- C_{sv} = parámetro que mide la esbeltez de una viga
- b = ancho de la viga en mm
- h = altura de la viga en mm
- ℓ_e = longitud efectiva de la viga en mm

El cálculo de ℓ_e se efectúa según la tabla G.3-1, en donde ℓ_u es la longitud entre soportes laterales de la viga

En vigas cortas, donde $0 < C_{sv} < 10$

$$C_s = 1.0 \quad (G.3-3)$$

En vigas intermedias, donde $10 < C_{sv} < C_k$,

$$C_s = 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{C_{sv}}{C_k} \right)^4 \quad (G.3-4)$$

$$C_k = \sqrt{\frac{3E}{5F_b}} \quad (G.3-5)$$

En vigas largas, donde $C_k < C_{sv} < 50$,

$$C_s = \frac{0.4E}{F_b C_{sv}^2} \quad (G.3-6)$$

En ningún caso se permitirá $C_{sv} > 50$

El esfuerzo admisible modificado a flexión es, entonces:

$$F'_b = C_s F_b \quad (G.3-7)$$

En las fórmulas anteriores:

- C_k = parámetro de comparación para obtener el esfuerzo admisible modificado a flexión
- C_s = coeficiente de modificación por esbeltez
- E = módulo de elasticidad
- F_b = esfuerzo admisible a flexión
- F'_b = esfuerzo admisible modificado a flexión

Tabla G.3.1
Longitud efectiva de vigas ℓ_e (mm)

Viga simplemente apoyada de una luz, carga concentrada en el centro	1.61 ℓ_u
Viga simplemente apoyada de una luz, carga uniformemente repartida	1.92 ℓ_u
Viga simplemente apoyada de una luz, momentos iguales en los extremos	1.84 ℓ_u
Viga en voladizo, carga concentrada en el extremo	1.69 ℓ_u
Viga en voladizo, carga uniformemente repartida	1.06 ℓ_u
Viga simplemente apoyada de una luz o viga en voladizo, cualquier tipo de carga	1.92 ℓ_u

ℓ_u = longitud no soportada lateralmente, en mm

En cuanto a la longitud entre soportes laterales de la viga, ℓ_u , hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- (a) Cuando el cordón a compresión de la viga se soporta en toda su longitud para prevenir el desplazamiento lateral, la longitud no soportada ℓ_u será igual a 0.
- (b) Cuando se provee solamente soporte lateral en los extremos de la viga para prevenir rotación en esos puntos, la longitud no soportada de la viga ℓ_u será la distancia entre los apoyos o en el caso de vigas en voladizo, la longitud total.
- (c) Cuando se suministra soporte lateral para prevenir rotación o desplazamiento lateral, tanto en puntos intermedios como en los extremos, la longitud no soportada ℓ_u será la distancia entre tales soportes laterales.
- (d) El coeficiente C_s no es acumulable con el coeficiente de tamaño C_T .

G.3.2.4.4 - Acción de conjunto - Los esfuerzos admisibles podrán incrementarse en un 10% cuando exista una acción de conjunto garantizada de cuatro o más elementos de igual rigidez, como en el caso de viguetas y de pies derechos de entramados ($C_T = 1.10$).

G.3.2.5 - El momento actuante sobre vigas rectangulares no debe exceder el valor del momento resistente dado por la fórmula.

$$M \leq F_b' \frac{bh^2}{6} \quad (\text{G.3-8})$$

G.3.2.6 - El momento actuante sobre secciones circulares no debe exceder el valor del momento resistente dado por la fórmula:

$$M \leq F_b' (0.928r^3) \quad (\text{G.3-9})$$

En donde r es el radio de la sección.

G.3.2.7 - Para otras secciones véase G.3.2.4.2.

G.3.3 – CORTANTE

G.3.3.1 - Los esfuerzos máximos de corte serán calculados en secciones a una distancia del apoyo igual a la altura, excepto en voladizos para los que los esfuerzos máximos serán evaluados en la cara del apoyo. El máximo esfuerzo cortante se determinará teniendo en cuenta la distribución no uniforme de estos esfuerzos en la sección, no debiendo ser mayor que el máximo esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras, F_v' , del grupo de madera estructural especificado. La resistencia al corte en la dirección perpendicular a las fibras es mucho mayor, y por lo tanto no requiere de verificación.

G.3.3.2 - La fuerza cortante admisible paralela a las fibras en una viga rectangular se calculará por la fórmula:

$$V = \frac{2}{3} F_v' b h \quad (\text{G.3-10})$$

G.3.3.3 - La fuerza cortante admisible paralela a las fibras en vigas de sección circular se calculará por la fórmula

$$V = \frac{3}{4} F_v' \pi r^2 \quad (\text{G.3-11})$$

G.3.3.4 - Cuando se presentan grietas o acebolladuras en la sección de diseño, para efectos de cálculo el ancho del elemento deberá reducirse a una longitud igual a la proyección de la grieta o acebolladura.

G.3.3.5 - En vigas con caja en los apoyos deberán comprobarse en la sección neta las capacidades, tanto en flexión como en corte. La fuerza cortante en tales puntos no deberá exceder el valor calculado por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{2 b h'}{3} F'_v \quad (\text{G.3-12})$$

$$F'_v = C_m F_v \quad (\text{G.3-13})$$

$$C_m = \left(\frac{h'}{h} \right)^2 \quad (\text{G.3-14})$$

en donde:

- F_v = esfuerzo admisible en corte paralelo a la fibra
- b' = altura de la viga en la zona cajeadada
- h = altura total de la viga

G.3.3.3 – Deben recibir especial atención en su diseño a cortante de luz corta fuertemente cargadas, donde los esfuerzos cortantes son especialmente críticos y gobiernan el diseño.

G.3.4 – APLASTAMIENTO

G.3.4.1 - Los esfuerzos de compresión en la dirección perpendicular a las fibras deberán verificarse en los apoyos y otros puntos donde se tengan cargas concentradas en áreas pequeñas. La fuerza admisible de aplastamiento en los apoyos se calculará con la fórmula:

$$N = F'_p A \quad (\text{G.3-15})$$

en donde, F'_p es el esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra, modificado, en MPa.

G.3.4.1.1 - Para apoyos menores de 300 mm en longitud y no más de 150 mm cercanos a los extremos del elemento, el esfuerzo admisible modificado F'_p puede incrementarse multiplicándolo por el factor.

$$\frac{\ell_b + 9.53}{\ell_b}$$

en donde ℓ_b es la longitud del apoyo en mm, medida a lo largo de la fibra de la madera.

El factor de multiplicación para apoyos de longitudes correspondientes a áreas pequeñas como platinas y arandelas, puede ser como se muestra en el siguiente cuadro:

Longitud del apoyo, en mm	12.5	25	38	50	75	100	300
Factor	1.75	1.38	1.25	1.19	1.13	1.10	1.00

Para arandelas circulares la longitud de apoyo es igual al diámetro. Para viguetas soportadas por otras viguetas y clavadas a ellas, el esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra puede incrementarse en un 50%. Cuando se presenten disminuciones en el ancho efectivo del área de soporte de un elemento (por ejemplo arista faltante), el esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras se calculará teniendo en cuenta estas disminuciones

G.3.4.2 - No se permitirán sistemas de apoyo que introduzcan esfuerzos de tensión en la dirección perpendicular a las fibras.

G.3.4.3 - Cuando la dirección de la fuerza sea inclinada respecto a la dirección de la fibra de la madera, (ángulo diferente a 0 ó 90 grados), la fuerza admisible de diseño será calculada con la fórmula de Hankinson:

$$N = \frac{P Q}{P \sin^2 \alpha + Q \cos^2 \alpha} \quad (\text{G.3-16})$$

en donde

- P = fuerza admisible paralela a la fibra
- Q = fuerza admisible perpendicular a la fibra
- α = ángulo entre la dirección de la fuerza y la dirección de la fibra

G.3.5 – DEFLEXIONES

G.3.5.1 - Las deflexiones máximas admisibles de las vigas de madera, incluyendo los efectos diferidos calculados según G.3.5.4, se limitarán a los valores de la tabla G.3.2.

Tabla G.3.2
Deflexiones admisibles Δ en vigas (mm)

Descripción	Cargas vivas	Cargas totales
Cielos rasos de pañete o yeso	-	$\frac{\ell}{300}$
Otros cielos rasos	-	$\frac{\ell}{250}$
Techos inclinados y edificaciones industriales	-	$\frac{\ell}{200}$
Todo tipo de edificación	$\frac{\ell}{350}$	-

en donde, ℓ es la luz entre caras de apoyos o la distancia de la cara del apoyo al extremo, en el caso de voladizos.

G.3.5.2 - Cuando se desee incrementar la rigidez de un piso para minimizar las vibraciones, se debe utilizar un límite Δ de $\ell/480$ para la carga total.

G.3.5.3 - Las deflexiones de las vigas se calcularán con el módulo de elasticidad E_{\min} para el grupo estructural especificado. En el caso de viguetas se podrá utilizar E_{prom} cuando se garantice una efectiva acción de conjunto.

G.3.5.4 - Las deformaciones diferidas debidas a flujo plástico pueden estimarse como las debidas a cargas permanentes multiplicadas por un coeficiente de 1.8, de manera que la deflexión total por cargas permanentes será la instantánea multiplicada por 1.8.