

## NORMA TÉCNICA COMPLEMENTARIA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA Y BAMBÚ

### ÍNDICE

NOTACIÓN .....	4
TERMINOLOGÍA .....	7
ESTÁNDARES.....	11
NOTACIÓN .....	4
TERMINOLOGÍA .....	7
ESTÁNDARES .....	11
<b>1. CONSIDERACIONES GENERALES .....</b>	<b>12</b>
1.1 Alcance .....	12
1.2 Unidades.....	12
1.3 Clasificación Estructural .....	13
1.4 Dimensiones .....	13
1.5 Contenido de humedad .....	13
1.6 Madera importada.....	13
1.7 Anchos de cubierta a considerar para soporte de cargas concentradas .....	13
1.8 Cargas vivas concentradas para diseño de pisos de madera.....	13
1.9 Acciones accidentales .....	14
<b>2. PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO .....</b>	<b>15</b>
2.1 Métodos de diseño.....	15
2.2 Valores especificados de resistencias y rigideces .....	15
2.3 Factores de resistencia .....	18
2.4 Valores modificados de resistencias y rigideces .....	18
2.5 Factor de comportamiento sísmico para estructuras de madera .....	22
2.6 Encharcamiento en techos planos .....	23
<b>3. RESISTENCIAS DE DISEÑO DE MIEMBROS DE MADERA MACIZA.....</b>	<b>24</b>
3.1 Miembros en tensión .....	24
3.2 Miembros bajo cargas transversales.....	24
3.3 Miembros sujetos a combinaciones de momento y carga axial de compresión.....	29
3.4 Miembros sujetos a combinaciones de momento y carga axial de tensión .....	32
3.5 Compresión o aplastamiento actuando con un ángulo $\theta$ respecto a la fibra de la madera diferente de $0^\circ$ .....	32
<b>4. RESISTENCIA DE DISEÑO DE TABLEROS A BASE DE MADERA .....</b>	<b>34</b>
4.1 Requisitos del material.....	34
4.2 Orientación de los esfuerzos .....	34
4.3 Resistencia a carga axial .....	34
4.4 Tableros en flexión .....	35
4.5 Resistencia a cortante.....	35
4.6 Aplastamiento .....	36
<b>5. RESISTENCIA DE DISEÑO DE MADERA LAMINADA .....</b>	<b>37</b>
5.1 Consideraciones generales .....	37
5.2 Definición .....	37
5.3 Requisitos de fabricación .....	37

5.4	Tamaños estándar .....	38
5.5	Condiciones de uso .....	38
5.6	Condiciones de servicio .....	38
5.7	Valores especificados.....	38
5.8	Ajuste de los valores especificados .....	39
5.9	Consideraciones especiales de diseño.....	41
<b>6.</b>	<b>RESISTENCIA DE DISEÑO DE MIEMBROS DE BAMBÚ.....</b>	<b>45</b>
6.1	Consideraciones generales .....	45
6.2	Miembros en tensión .....	45
6.3	Miembros bajo cargas transversales.....	45
6.4	Miembros sujetos a combinaciones de momento y carga axial de compresión .....	46
6.5	Compresión o aplastamiento actuando en un ángulo $\theta$ respecto al eje del culmo diferente a $0^\circ$ .....	46
<b>7.</b>	<b>RESISTENCIA DE DISEÑO DE PILOTES DE MADERA REDONDOS .....</b>	<b>47</b>
7.1	Consideraciones generales .....	47
7.2	Materiales.....	47
7.3	Clasificación por carga de ruptura .....	47
7.4	Tratamientos de preservación .....	48
7.5	Pilotes usados en obras provisionales .....	48
7.6	Diseño de pilotes .....	48
7.7	Diseño de columnas .....	48
7.8	Porción no embebida.....	48
7.9	Valores especificados para pilotes de madera .....	48
<b>8.</b>	<b>DISEÑO ESTRUCTURAL DE POSTES.....</b>	<b>50</b>
8.1	Consideraciones generales .....	50
8.2	Materiales.....	50
8.3	Tratamientos de preservación .....	50
8.4	Diseño de postes .....	50
<b>9.</b>	<b>DEFLEXIONES .....</b>	<b>51</b>
9.1	Cálculo de deflexiones .....	51
9.2	Madera maciza .....	51
9.3	Madera contrachapada .....	51
9.4	Madera laminada .....	51
<b>10.</b>	<b>ELEMENTOS DE UNIÓN.....</b>	<b>52</b>
10.1	Consideraciones generales .....	52
10.2	Clavos .....	52
10.3	Pernos y pijas.....	53
10.4	Uniones con placas dentadas o perforadas.....	62
10.5	Uniones con bambú .....	63
<b>11.</b>	<b>EJECUCIÓN DE OBRAS .....</b>	<b>65</b>
11.1	Consideraciones generales .....	65
11.2	Normas de calidad .....	65
11.3	Contenido de humedad .....	65
11.4	Protección a la madera.....	66
11.5	Pendiente mínima de los techos.....	66
11.6	Tolerancias .....	66
11.7	Transporte y montaje.....	66
<b>12.</b>	<b>RESISTENCIA AL FUEGO.....</b>	<b>67</b>
12.1	Medidas de protección contra fuego .....	67
12.2	Diseño de elementos estructurales y ejecución de uniones.....	69

---

<b>APÉNDICE A. PROPIEDADES EFECTIVAS DE LA SECCIÓN PARA UNA SERIE DE COMBINACIONES ADECUADAS DE CHAPAS PARA PLACAS DE MADERA CONTRACHAPADA. ....</b>	<b>70</b>
<b>A.1. Aplicación .....</b>	<b>70</b>
<b>A.2. Propiedades de la sección .....</b>	<b>70</b>
<b>APÉNDICE B. CLASIFICACIÓN DEL BAMBÚ ESTRUCTURAL.....</b>	<b>74</b>
<b>B.1. Alcance .....</b>	<b>74</b>
<b>B.2. Especificaciones para bambú de uso estructural.....</b>	<b>74</b>
<b>APÉNDICE C. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE VIGAS DE MADERA LAMINADA DE CONÍFERAS .....</b>	<b>75</b>
<b>REFERENCIAS EN LOS COMENTARIOS.....</b>	<b>77</b>

Espacio en blanco dejado de manera intencional

## NOTACIÓN

$A$	área total de la sección, mm <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )
$A_l$	área efectiva de la sección transversal de las chapas en la dirección considerada, mm <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )
$A_a$	área de la superficie de apoyo por aplastamiento, mm <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )
$A_i$	superficie de apoyo de la pija igual a $D * l_p$ , mm <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )
$A_m$	área bruta del elemento principal, mm <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )
$A_n$	área neta del elemento igual a $A_m$ menos el área proyectada del material eliminado para conectores o cualquier otro tipo de corte, mm <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )
$A_s$	suma de las áreas brutas de las piezas laterales, mm <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )
$b$	ancho de la sección transversal, mm (cm)
$B$	ancho de una viga o la dimensión más pequeña de una columna (cm)
$C$	factor para obtener los valores efectivos de propiedades geométricas de madera contrachapada
$CH$	contenido de humedad (%)
$C_{fE}$	factor de corrección para cálculo de estabilidad lateral
$C_s$	factor de esbeltez
$D$	diámetro del conector, mm (cm)
$D$	espesor de una viga o la dimensión más grande de la columna (cm)
$D_e$	diámetro exterior del culmo
$D_i$	diámetro interior del culmo
$D_o$	diámetro o lado de la rondana mm (cm)
$d$	peralte de la sección, mm (cm)
$d_a$	peralte de la sección trasversal en el ápice
$d_e$	peralte efectivo para determinación de la resistencia a cortante de un miembro con conectores, mm (cm)
$d_r$	profundidad del recorte, mm (cm)
$E_{0.05}$	módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$E_{0.50}$	módulo de elasticidad promedio, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$e_b$	excentricidad por encorvadura, mm (cm)
$e_r$	longitud del recorte medido paralelamente a la viga desde el paño interior del apoyo más cercano hasta el extremo más alejado del recorte, mm (cm)
$F_R$	factor de resistencia
$f_b$	esfuerzo de flexión en el ápice de un miembro doblemente ahusado
$f_{cr}$	esfuerzo crítico utilizado en cálculos de flexión y compresión uniaxial
$f_{cu}$	valor modificado de esfuerzo en compresión paralela a la fibra, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{cu}'$	valor especificado de esfuerzo en compresión paralelo a la fibra, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{fu}$	valor modificado de esfuerzo en flexión, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{fu}'$	valor especificado de esfuerzo en flexión, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{fu}$	valor modificado de esfuerzo en compresión perpendicular a la fibra, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{fu}'$	valor especificado de esfuerzo en compresión perpendicular a la fibra, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{ru}$	esfuerzo radial inducido por la flexión
$f_{ru}$	valor modificado de esfuerzo cortante en el plano de las chapas, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{ru}'$	valor especificado de esfuerzo cortante en el plano de las chapas, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{tu}$	valor modificado de esfuerzo en tensión paralela a la fibra, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{tu}'$	valor especificado de esfuerzo en tensión paralelo a la fibra, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{uc}$	esfuerzo de compresión último de diseño que actúa sobre un elemento, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{uf}$	esfuerzo de flexión último de diseño que actúa sobre un elemento, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{vgu}$	valor modificado de esfuerzo cortante a través del grosor, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{vgu}'$	valor especificado de esfuerzo cortante a través del grosor, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{vu}$	valor modificado de esfuerzo cortante paralelo a la fibra, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$f_{vu}'$	valor especificado de esfuerzo cortante paralelo a la fibra, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$G_{0.50}$	módulo de rigidez promedio, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$I$	momento de inercia de la sección, mm <sup>4</sup> (cm <sup>4</sup> )
$I_l$	momento de inercia efectivo en la dirección considerada, mm <sup>4</sup> (cm <sup>4</sup> )
$J_a$	factor de modificación para clavos lanceros
$J_d$	factor de modificación por duración de carga para uniones
$J_{di}$	factor de modificación para clavos para diafragmas

$J_{dp}$	factor de modificación por doblado de la punta en clavos
$J_g$	factor de modificación por grupo de conectores para pernos y pijas
$J_{gc}$	factor de modificación por grosor de piezas laterales en clavos
$J_{gp}$	factor de modificación por grosor de piezas laterales en pijas
$J_h$	factor de modificación por contenido de humedad para uniones
$J_n$	factor de modificación por carga perpendicular a la fibra en pija
$J_p$	factor de modificación para clavos hincados paralelamente a la fibra
$K_a$	factor de modificación por tamaño de la superficie de apoyo
$K_c$	factor de modificación por compartición de carga para sistemas de piso, techos y muros
$K_d$	factor de modificación por duración de carga para dimensionamiento de secciones
$K_e$	factor de estabilidad de columnas
$K_f$	factor de modificación por tratamiento preservador
$K_{fu}$	factor de uso plano para madera laminada
$K_h$	factor de modificación por contenido de humedad para dimensionamiento de secciones
$K_I$	factor de interacción de esfuerzos
$K_p$	factor de modificación por peralte
$K_r$	factor de modificación por recorte
$K_s$	factor de tamaño
$K_t$	factor de modificación por temperatura de servicio
$K_v$	factor de modificación por condición de apoyo o compartición de carga en cortante
$K_{vr}$	factor de reducción de cortante
$K_x$	factor de curvatura
$k$	factor para determinar la longitud efectiva de columnas
$L$	longitud del claro, mm (cm)
$L_a$	Longitud sin soporte lateral, en mm (cm)
$L_e$	longitud efectiva de pandeo, mm (cm)
$L_u$	longitud sin soporte lateral para columnas y vigas, mm (cm)
$l$	longitud del clavo, mm (cm)
$l_p$	longitud efectiva de penetración de la parte roscada de la pija en el miembro que recibe la punta, mm (cm)
$M_1, M_2$	momentos actuantes en los extremos de columnas, N-mm (kg-cm)
$M_a$	momento flexionante en el ápice
$M_P$	resistencia a flexión de diseño por cargas perpendiculares al plano de una placa de madera contrachapada, N-mm (kg-cm)
$M_Q$	resistencia de diseño de una placa de madera contrachapada sujeta a flexión por cargas en su plano, N-mm (kg-cm)
$M_R$	resistencia de diseño de miembros sujetos a flexión, N-mm (kg-cm)
$M_u$	momento último actuante de diseño en miembros sujetos flexión, N-mm (kg-cm)
$M_{xR}$	resistencia de diseño a momento respecto al eje X, N-mm (kg-cm)
$M_{xu}$	momento último actuante de diseño respecto al eje X, N-mm (kg-cm)
$M_{yR}$	resistencia de diseño a momento respecto al eje Y, N-mm (kg-cm)
$M_{yu}$	momento último actuante de diseño respecto al eje Y, N-mm (kg-cm)
$N_R$	resistencia de diseño de miembros sujetos a compresión perpendicular a la fibra o normal al plano de tableros contrachapados, N (kg)
$N_{ru}$	resistencia lateral de diseño de una unión, N (kg)
$N_{R\theta}$	resistencia a compresión de diseño sobre un plano con un ángulo $\theta$ respecto a las fibras, N (kg)
$N_u$	resistencia lateral modificada por elemento de unión, N (kg)
$N_u'$	resistencia lateral especificada por elemento de unión, N (kg)
$n$	número de elementos de unión
$n_p$	número de planos de cortante
$P_{cr}$	carga crítica de pandeo, N (kg)
$P_{pu}$	resistencia lateral modificada por elemento de unión para cargas paralelas a la fibra, N (kg)
$P_{pu}'$	resistencia especificada por elemento de unión para cargas paralelas a la fibra, N (kg)
$P_R$	resistencia a compresión de diseño de un elemento, N (kg)
$P_{Rt}$	Resistencia a compresión reducida por efecto del pandeo torsional, N (kg)
$P_{re}$	resistencia a la extracción de diseño de un grupo de pijas hincadas perpendicularmente a la fibra (sección 6.4), N (kg)

$P_{ru}$	resistencia lateral de diseño de una unión para cargas paralelas a la fibra, N (kg)
$P_u$	carga axial última de diseño que actúa sobre un elemento, N (kg)
$Q$	factor de comportamiento sísmico
$Q_{pu}$	resistencia modificada por elemento de unión para cargas perpendiculares a la fibra, N (kg)
$Q_{pu}'$	resistencia especificada por elemento de unión para cargas perpendiculares a la fibra, N (kg)
$Q_{ru}$	resistencia lateral de diseño para cargas perpendiculares a la fibra, N (kg)
$R$	radio de curvatura de la lámina más interna
$r$	radio de giro mínimo de la sección, mm (cm)
$S$	módulo de sección, mm <sup>3</sup> (cm <sup>3</sup> )
$S_I$	módulo de sección efectivo en la dirección considerada, mm <sup>3</sup> (cm <sup>3</sup> )
$T_R$	resistencia de diseño a tensión de un miembro, N (kg)
$T_u$	carga de tensión última actuando sobre el elemento, N (kg)
$t$	grosor neto del tablero de madera contrachapada, mm (cm)
$t$	resistencia al fuego en minutos
$t_l$	grosor de la pieza lateral del lado de la cabeza del elemento de unión, mm (cm)
$t_e$	grosor efectivo del tablero de madera contrachapada, mm (cm)
$t_o$	grosor de la rondana, mm (cm)
$V_R$	resistencia a cortante de diseño, N (kg)
$V_{R1}$	resistencia a cortante de diseño en el plano de las chapas para madera contrachapada sujeta a flexión, N (kg)
$V_{R2}$	resistencia a cortante de diseño a través del grosor en tableros de madera contrachapada, N (kg)
$Y_e$	resistencia en extracción modificada para pijas, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$Y_e'$	resistencia en extracción especificada para pijas, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$Y_u$	resistencia lateral modificada para cargas paralelas a la fibra en pijas, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$Y_u'$	resistencia lateral especificada para cargas paralelas a la fibra en pijas, MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
$Z$	factor de compensación de carga parcial, que es una función aplicada a la capacidad de diseño
$\gamma$	densidad relativa igual a peso anhidro / volumen verde
$\theta$	ángulo formado entre la dirección de la carga y la dirección de la fibra
$\theta$	ángulo de ahusamiento, grados
$\phi$	factor de estabilidad lateral en vigas
$\phi_T$	ángulo de la pendiente del techo, grados

Espacio en blanco dejado de manera intencional

## TERMINOLOGÍA

### **Albura**

Madera tierna y blanquecina entre la corteza y el duramen de los árboles en pie, que contiene células vivas de parénquima y materiales de reserva, generalmente de coloración más clara y de menor resistencia a los agentes biológicos que el duramen.

### **Adhesivo**

Sustancia capaz de mantener unidos los materiales por adherencia superficial para propósitos estructurales.

### **Clase estructural**

Designación de la calidad de una pieza de madera para fines estructurales.

### **Columnas o postes**

Elementos estructurales sometidos esencialmente a cargas de compresión y que actúan en forma aislada por tener gran separación entre sí. Tienen un ancho no más de 51 mm mayor que el grosor.

### **Coníferas**

También llamadas gimnospermas. Árboles de hoja perenne en forma de aguja con semillas alojadas en conos. Su madera está constituida esencialmente por un tipo de células denominadas traqueidas.

### **Contenido de humedad**

Peso del agua en la madera expresado como un porcentaje de su peso anhidro.

### **Contenido de humedad en equilibrio**

Contenido de humedad que alcanza la madera en condiciones estables de humedad relativa y temperatura.

### **Cubierta**

Capa superior del techo que está en el primer contacto directo con la intemperie. Puede ser impermeabilizante, tejas o láminas de diferentes materiales. También puede ser de duelas, tablas o tableros de madera contrachapada, tableros de OSB o cualquier otro tipo de tableros estructurales que forman parte de sistemas de piso o techo y se apoyan sobre elementos de madera poco espaciados.

### **Curvatura**

Deformación de un elemento estructural de su eje longitudinal, provocando momentos flexionantes en madera bajo cargas axiales.

### **Chapa**

Capa delgada de madera obtenida al desenrollar una troza en un torno especial o por rebanado de una troza.

### **Conector**

Elemento de unión que permite transmitir la fuerza cortante entre miembros. Pueden ser clavos, pernos, pijas u otros elementos que cumplan funciones semejantes.

### **Construcción con postes**

Forma de construcción en la cual los principales elementos verticales son postes redondos o madera aserrada embebida en el suelo y que se extiende verticalmente sobre el terreno para proveer tanto la cimentación como los miembros de armazón vertical de la estructura.

### **Duramen**

Porción central de los árboles en pie sin células de parénquima vivas, cuyas sustancias de reserva fueron consumidas o transformadas en otras (extractivos).

### **Densidad relativa básica**

Peso anhidro de la madera dividido entre su volumen saturado; es la relación de su peso específico y el peso específico del agua, el cual es igual a la unidad en el sistema métrico.

**Duración de carga**

Período de aplicación continua de una carga dada o el agregado de períodos de aplicaciones intermitentes de la misma carga. Su efecto sobre la resistencia de la madera se toma en cuenta con el factor de modificación  $K_d$ .

**Factor de esbeltez**

Factor usado para modificar los valores de resistencia en flexión en el diseño por estabilidad lateral de vigas esbeltas.

**Factor de estabilidad de columnas**

Factor usado en la fórmula de interacción para flexión uniaxial de miembros de madera aserrada o laminada.

**Factor de estabilidad lateral**

Factor usado para el cálculo de la resistencia de vigas sin soportes laterales en sus apoyos que impidan la traslación y la rotación de sus extremos.

**Factor de modificación de resistencia**

Factor que toma en cuenta el efecto que tiene sobre la resistencia alguna variable como la duración de carga, el contenido de humedad, el tamaño de la superficie de apoyo y otras.

**Factor de resistencia**

Factor,  $F_R$ , aplicado a la resistencia de un miembro o conexión que toma en cuenta la variabilidad de las dimensiones, las propiedades del material, la calidad de la mano de obra, el tipo de falla y la incertidumbre en la predicción de resistencia.

**Fibra**

Término utilizado para designar al conjunto de los elementos celulares constitutivos de la madera.

**Forro**

Sinónimo de cubierta. Materiales que se usan en muros o techos para integrar un sistema que funcione como diafragma o muros de cortante.

**Grieta**

Separación a lo largo de las fibras de la madera, atravesando los anillos de crecimiento.

**Lámina**

Pieza delgada de madera de ancho y longitud apreciables y que consiste en una o más piezas que pueden ser unidas en los extremos.

**Largueros**

Elementos de madera sometidos a flexión y que están colocados a distancias cortas (menores que 1.22 m) entre sí, unidos por duelas, o madera contrachapada, o algún otro material que funcione como rigidizante.

**Latifoliadas**

También llamadas angiospermas. Árboles de hoja ancha que producen sus semillas dentro de frutos. Su madera está constituida por células denominadas vasos, fibras y parénquima.

**Madera aserrada o madera maciza**

Producto de un aserradero que no es manufacturado más que por aserrado, reaserrado, cepillado y cortado en los extremos (cabeceado).

**Madera clasificada estructuralmente**

Madera que se agrupa en diferentes niveles de resistencia de acuerdo con las características que modifican sus resistencias. Para esta clasificación se aplica la norma NMX-C-239-ONNCCE (2014) para madera de coníferas y para el caso de madera de latifoliadas, la norma NMX-C-409-ONNCCE (1999).

**Madera contrachapada**

Tablero compuesto de un conjunto de chapas o capas de madera unidas con adhesivo, generalmente en número impar, en la cual las chapas adyacentes se colocan con la dirección de la fibra perpendicular entre sí.

**Madera laminada**

Producto hecho con láminas de madera clasificada, especialmente seleccionadas y preparadas y unidas entre sí con adhesivos resistentes a la humedad.

**Miembro principal**

En el caso de uniones sometidas a cortante simple es la pieza de mayor sección.

**Miembros laterales**

En el caso de uniones sometidas a cortante simple o múltiple son las piezas más delgadas.

**Orientación de las fibras**

Disposición de las fibras con respecto al eje longitudinal del tronco del árbol; su dirección puede ser: recta, inclinada, en espiral o entrelazada.

**Pegamento**

Sinónimo del término adhesivo.

**Peso específico**

Peso por unidad de volumen. En el caso de la madera debe especificarse el contenido de humedad al que se determinaron el peso y el volumen.

**Piezas húmedas**

Elementos de madera aserrada cuyo contenido de humedad es mayor que 18 por ciento.

**Piezas secas**

Elementos de madera aserrada cuyo contenido de humedad es igual o menor que 18 por ciento.

**Pies derechos**

Piezas de sección rectangular o cilíndrica que forman parte de sistemas de muros, y generalmente soportan cargas de compresión paralela a la fibra.

**Placas de unión**

Placas metálicas ligeras previstas para su uso en ensambles estructurales con madera. Incluye placas perforadas y placas dentadas.

**Preservador**

Cualquier sustancia apropiada que sea tóxica a hongos, insectos, barrenadores, y otros organismos que destruyen a la madera.

**Tableros de tiras orientadas (OSB)**

Tableros que se fabrican en un patrón de capas transversales de madera similar a la madera contrachapada. Los tableros OSB están compuestos de tiras delgadas de madera de forma rectangular dispuestas en capas en ángulo recto entre sí, que en conjunto forman un panel.

**Tratamiento de preservación a presión**

Impregnación bajo presión con una sustancia preservadora.

**Recorte**

La porción de una pieza de madera que se remueve al cortar con una sierra.

**Sistema de carga compartida**

Construcción compuesta de tres o más miembros esencialmente paralelos espaciados 610 mm o menos, centro a centro, distribuidos o conectados de tal manera que comparten las cargas que actúan sobre el sistema. La resistencia de estos sistemas se modifica por el factor de modificación  $K_c$ .

**Sistema de piso ligero**

Construcción formada por tres o más miembros aproximadamente paralelos y separados entre sí, no más de 813 mm, y unidos por una cubierta de madera contrachapada, de duelas de madera bien clavada u otro material que proporcione una rigidez equivalente. A estos sistemas se les aplican cargas concentradas definidas en el Reglamento.

**Valor especificado de resistencia**

Resistencia básica especificada en esta Norma para el cálculo de la resistencia de diseño.

**Valor modificado de resistencia**

El producto del valor especificado de resistencia por el factor de resistencia y los factores de modificación de la resistencia.

**Vigas**

Elementos estructurales sometidos a flexión que actúan en forma aislada por tener una separación grande y no estar unidos por un material de cubierta que les permita compartir la carga.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

## ESTÁNDARES

### Normas Mexicanas (NMX)

#### *Industria siderúrgica. Clavos*

NMX-B-505-CANACERO-2011 - Clavos – Especificaciones y Métodos de Prueba

#### *Industria siderúrgica. Tornillos*

NMX-H-47-CANACERO-1990 - Tornillos con Cabeza Hexagonal

NMX-H-122-CANACERO - Tornillos, Birlos y Sujetadores Roscados Externamente de Acero Aleado, Templados y Revenidos

#### *Industria de la construcción*

NMX-C-178-ONNCCE-2014 - Preservadores para Madera - Clasificación y Requisitos

NMX-C-224-ONNCCE- 2001- Dimensiones de la Madera Aserrada para Su uso en la Construcción

NMX-C-239-ONNCCE- 2014 - Especificaciones y Métodos de Ensayo para la Clasificación y Clasificación Visual de Madera Dimensionada de Pino para usos Estructurales

NMX-C-294-1980 - Determinación de las Características del Quemado Superficial de los Materiales de Construcción

NMX-C-307-ONNCCE-2009 - Resistencia Al Fuego de Elementos y Componentes

NMX-C-322-ONNCCE-2014 - Madera Preservada A Presión - Clasificación y Requisitos

NMX-C-409-ONNCCE -1999 - Clasificación Visual para Maderas Latifoliadas de uso Estructural

NMX-C-438-ONNCCE-2014 - Tableros Contrachapados de Madera de Pino y Otras - Coníferas - Clasificación y Especificaciones

#### *Comisión Federal de Electricidad*

CFE-J6200-01 Postes de Madera (2018)

### American Society for Testing and Materials (ASTM International)

ASTM E84-80 (UL 723) - Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials

ASTM E119-78 - Standard Methods for Tests of Building Construction and Materials

### American Wood Council

National Design Specification for Wood Construction (NDS) 2015 Edition

### International Building Code

IBC 2009 Section 721.6 Calculated Fire Resistance - Wood Assemblies

## 1. CONSIDERACIONES GENERALES

### 1.1 Alcance

**1.1.1** Estas disposiciones son aplicables a elementos estructurales de madera aserrada, nacional e importada, de cualquier especie, cuya densidad relativa promedio,  $\gamma$ , sea igual o superior a 0.35, a elementos estructurales como placas madera contrachapada o de partículas, madera laminada y bambú.

**1.1.2** Para efectos de la presente Norma, las maderas que se usan en la construcción se clasifican en coníferas y latifoliadas. En la tabla 1.1.3 se muestran la agrupación de la madera de latifoliadas en cuatro grupos de acuerdo con los valores de su módulo de elasticidad correspondiente al quinto percentil,  $E_{0.05}$  para madera seca, con contenido de humedad igual o menor que 18 por ciento.

**1.1.3** El valor de  $E_{0.05}$  debe ser determinado experimentalmente con piezas de tamaño estructural.

**Tabla 1.1.3 - Grupos de maderas latifoliadas**

	Intervalo de valores de $E_{0.05}$	
	MPa	(kg/cm <sup>2</sup> )
Grupo I	mayor que 11 800	(mayor que 120 000)
Grupo II	8 800 a 11 700	(90 000 a 119 000)
Grupo III	7 360 a 8 730	(75 000 a 89 000)
Grupo IV	4 400 a 7 260	(45 000 a 74 000)

**1.1.4** Los proyectos con elementos estructurales a base de madera no cubiertos por estas Normas, tales como la madera reconstituida y los diversos tipos de tableros (con excepción de los de madera contrachapada y OSB) deberán ser aprobados por la Secretaría de Obras y Servicios.

**1.1.5** Para el alcance de estas normas se consideran dos especies de bambú introducidas y una nativa que por sus características se usan tradicionalmente para la construcción. El uso de otras especies debe ser responsabilidad de los constructores y aprobadas por la Secretaría de Obras y Servicios.

### 1.2 Unidades

**1.2.1** Las disposiciones de estas Normas se presentan en unidades del sistema internacional (Tabla 1.2.1.a), y entre paréntesis en sistema métrico MKS (Tabla 1.2.1.b).

**Tabla 1.2.1.a - Unidades del Sistema Internacional usadas en esta Norma**

Atributo	Unidad
Fuerza	N (newton)
Longitud	mm (milímetro)
Momento	N-mm
Esfuerzo	Mpa (megapascal)

**Tabla 1.2.1.b - Unidades del sistema gravitacional MKS usadas en esta Norma**

Atributo	Unidad
Fuerza	kg (kilogramo fuerza) <sup>[1]</sup>
Longitud	cm (centímetro)
Momento	kg-cm
Esfuerzo	kg/cm <sup>2</sup>

<sup>[1]</sup> En esta Norma, el kilogramo fuerza se representa con kg.

**1.2.2** Los valores correspondientes a los dos sistemas no son exactamente equivalentes, por lo que cada sistema debe utilizarse con independencia del otro, sin hacer combinaciones entre los dos.

**1.2.3** Las unidades que aquí se mencionan son las comunes de los dos sistemas. Se permitirá usar otras unidades, empleadas correctamente, que en ocasiones pueden ser más convenientes; por ejemplo, en el sistema gravitacional usual puede ser preferible expresar las longitudes en metros (m), las fuerzas en toneladas (t) y los momentos en t-m.

### 1.3 Clasificación Estructural

**1.3.1** Para que sean aplicables los valores de diseño propuestos en estas Normas, las maderas de coníferas deben clasificarse de acuerdo con la norma NMX-C-239-ONNCCE (2014), la cual establece tres clases de madera estructural, A, B y C. Las maderas de latifoliadas deberán clasificarse de acuerdo con la norma NMX-C-409-ONNCCE (1999). Otros métodos de clasificación deberán ser aprobados por la Administración.

### 1.4 Dimensiones

**1.4.1** Para efectos de dimensionamiento se utilizarán con preferencia las secciones especificadas en la norma NMX-C-224-ONNCCE (2001). Para piezas de dimensiones mayores que las cubiertas en la norma citada y, en general, para secciones que no se ajusten a ellas debe utilizarse la sección real en condición seca.

### 1.5 Contenido de humedad

**1.5.1** El contenido de humedad,  $CH$ , se define como el peso original menos el peso anhidro dividido entre el peso anhidro y se expresa en porcentaje. Se considera madera seca a la que tiene un contenido de humedad igual o menor que 18 por ciento; y húmeda a aquella cuyo contenido de humedad es superior a dicho valor.

### 1.6 Madera importada

**1.6.1** El mercado de la madera en la industria de la construcción en el país está constituido por madera de origen nacional e importado. En estas Normas se presenta la información relevante de las especies y productos de madera nacional e importada más empleados en la construcción. Las maderas importadas deberán estar clasificadas con sus respectivas reglas de clasificación y deberán contar con un sello de certificación que avale esta clasificación.

### 1.7 Anchos de cubierta a considerar para soporte de cargas concentradas

**1.7.1** Para el diseño de cubiertas se consideran como anchos,  $b$ , de la sección que soporta las cargas vivas concentradas indicadas en la sección 1.7, los valores de la tabla 1.6.1, tanto para el cálculo de resistencia como de deflexión.

**Tabla 1.7.1 - Anchos,  $b$ , para soporte de cargas concentradas en cubiertas**

Condición	$b$
Duelas a tope <sup>[1]</sup>	Ancho de una duela
Duelas machihembradas <sup>[2]</sup>	2 × ancho de una duela + 150 mm, pero no más de 450 mm
Madera contrachapada o tableros OSB <sup>[3]</sup>	610 mm

<sup>[1]</sup> grosor mínimo 19 mm

<sup>[2]</sup> grosor mínimo 13 mm

<sup>[3]</sup> grosor mínimo 9 mm.

### 1.8 Cargas vivas concentradas para diseño de pisos de madera

**1.8.1** Para el diseño de pisos ligeros de madera con cubierta rigidizante, destinados a habitación, oficinas, despachos y laboratorios, se deben tomar en consideración las disposiciones señaladas en 6.1 de la NTC-Criterios, para el valor de  $W_m$ .

## 1.9 Acciones accidentales

**1.9.1** Las acciones accidentales son las que no se deben al funcionamiento normal de la edificación y que pueden alcanzar intensidades significativas sólo durante lapsos breves. Pertenecen a esta categoría: las acciones sísmicas; los efectos del viento; las cargas de granizo; los efectos de incendios y otros fenómenos que pueden presentarse en casos extraordinarios. Para tomar en cuenta el efecto del granizo, se deberá considerar lo señalado en la fracción 11 de la Tabla 7 de la NTC- Criterios. Para el caso de los incendios, se deberán observar las provisiones señaladas en el Capítulo 10 de estas Normas.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

## 2. PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO

### 2.1 Métodos de diseño

2.1.1 El diseño de elementos de madera y de los elementos de unión requeridos para formar estructuras se lleva a cabo de acuerdo con los criterios de estados límite establecidos en la NTC-Criterios, que establece los requisitos que deben satisfacerse en cuanto a seguridad y comportamiento en condiciones de servicio. El diseño puede realizarse por medio de procedimientos analíticos o experimentales. En el diseño por métodos analíticos las acciones internas se determinan considerando que los elementos estructurales y las estructuras tienen un comportamiento lineal elástico.

### 2.2 Valores especificados de resistencias y rigideces

2.2.1 La tabla 2.2.1.a proporciona valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad para madera de coníferas, para las clases estructurales A, B y C. La tabla 2.2.1.b establece valores especificados resistencias y módulos de elasticidad para los cuatro grupos de maderas de latifoliadas. Las tablas 2.2.1.c y 2.2.1.d contienen valores especificados resistencias y módulos de elasticidad de madera de coníferas provenientes de Estados Unidos. La tabla 2.2.1.e contiene valores especificados de resistencias, módulos de elasticidad y de rigidez para madera contrachapada de especies de coníferas. La tabla 2.2.1.f contiene valores especificados de resistencias, módulo de elasticidad y de rigidez para tableros de tiras orientadas (OSB). La tabla 2.2.3.a contiene valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de elementos de madera laminada de especies coníferas. Los valores de las tablas corresponden a condición seca. La tabla 2.2.3.b contiene los valores correspondientes a especies de madera latifoliada.

**Tabla 2.2.1.a - Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de maderas de especies coníferas, MPa (kg/cm<sup>2</sup>)**

		Clase estructural		
		A	B	C
Flexión	$f_{ju}'$	15.2 (155)	9.8 (100)	4.4 (45)
Tensión paralela a la fibra	$f_{tu}'$	11.3 (115)	6.9 (70)	5.4 (55)
Compresión paralela a la fibra	$f_{cu}'$	11.8 (120)	9.3 (95)	5.8 (60)
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{nu}'$	3.9 (40)	3.9 (40)	3.9 (40)
Cortante paralelo a la fibra	$f_{vu}'$	1.18 (12)	1.18 (12)	1.18 (12)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	9 810 (100 000)	7 850 (80 000)	6 375 (65 000)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil	$E_{0.05}$	6 375 (65 000)	4 905 (50 000)	4 520 (45 000)

**Tabla 2.2.1.b - Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de maderas de especies latifoliadas, MPa (kg/cm<sup>2</sup>)**

		Grupo estructural			
		I	II	III	IV
Flexión	$f_{ju}'$	30.4 (310)	22.6 (230)	15.7 (160)	7.8 (80)
Tensión paralela a la fibra	$f_{tu}'$	20.1 (205)	15.7 (160)	10.8 (110)	5.4 (55)
Compresión paralela a la fibra	$f_{cu}'$	22.1 (225)	16.7 (170)	12.3 (125)	5.9 (60)
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{nu}'$	7.4 (75)	5.4 (55)	3.9 (40)	2.0 (20)
Cortante paralelo a la fibra	$f_{vu}'$	2.5 (25)	2.0 (20)	1.5 (15)	1.0 (10)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	16 680 (170 000)	11 770 (120 000)	8 830 (90 000)	6 870 (70 000)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil	$E_{0.05}$	11 770 (120 000)	8 830 (90 000)	7 360 (75 000)	4 400 (45 000)

**Tabla 2.2.1.c - Valores especificados de resistencia y módulos de elasticidad para madera de pino del sur (SYP) procedente de Estados Unidos, MPa (kg/cm<sup>2</sup>)**

		Clase Estructural			
		Selecta	No. 1	No. 2	No. 3
Flexión	$f_{fu}'$	13.0 (132.6)	8.3 (84.6)	6.5 (66.3)	3.8 (38.7)
Tensión paralela a la fibra	$\phi_{tu}'$	7.8 (80.0)	5.2 (52.6)	4.0 (41.1)	2.5 (25.1)
Compresión paralela a la fibra	$f_{cu}'$	11.2 (114.2)	9.4 (96.0)	8.5 (86.8)	4.9 (50.3)
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{nu}'$	5.1 (51.6)	5.1 (51.6)	5.1 (51.6)	5.1 (51.6)
Cortante paralelo a la fibra	$f_{vu}'$	1.6 (16.5)	1.6 (16.5)	1.6 (16.5)	1.6 (16.5)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	11 032 (112 495)	10 342 (105 459)	9 653 (98 433)	8 274 (84 371)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil	$E_{0.05}$	7 636 (77 866)	7 138 (72 787)	6 640 (67 709)	5 810 (59 246)

**Tabla 2.2.1.d - Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad para madera de abeto Douglas (Douglas Fir) procedente de Estados Unidos, MPa (kg/cm<sup>2</sup>)**

		Clase Estructural			
		Selecta estructural	No. 1	No. 2	No. 3
Flexión	$f_{fu}'$	14.0 (142.6)	9.3 (95.1)	8.4 (85.5)	4.9 (49.9)
Tensión paralela a la fibra	$f_{tu}'$	9.0 (91.4)	6.0 (61.7)	4.7 (48.0)	3.4 (34.3)
Compresión paralela a la fibra	$f_{cu}'$	15.2 (155.4)	13.4 (137.1)	12.1 (123.4)	6.9 (70.8)
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{nu}'$	5.6 (57.1)	5.6 (57.1)	5.6 (57.1)	5.6 (57.1)
Cortante paralelo a la fibra	$f_{vu}'$	1.6 (16.5)	1.6 (16.5)	1.6 (16.5)	1.6 (16.5)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	13 100 (133 583)	11 721 (119 522)	11 032 (112 491)	9 653 (98 430)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil	$E_{0.05}$	7 897 (80 527)	7 096 (72 359)	6 638 (67 689)	5 837 (59 521)

**Tabla 2.2.1.e - Valores especificados de resistencias, módulo de elasticidad y módulo de rigidez de madera contrachapada de especies coníferas, MPa (kg/cm<sup>2</sup>)**

Flexión	$f_{fu}'$	16.7 (170)
Tensión	$f_{tu}'$	14.7 (150)
Tensión: fibra en las chapas exteriores perpendicular al esfuerzo (3 chapas)	$f_{tu}'$	8.8 (90)
Compresión		
En el plano de las chapas	$f_{cu}'$	15.7 (160)
Perpendicular al plano de las chapas	$f_{nu}'$	2.5 (25)
Cortante		
A través del grosor	$f_{vgu}'$	25 (25)
En el plano de las chapas	$f_{ru}'$	1 (10)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	10 800 (110 000)
Módulo de rigidez promedio	$G_{0.50}$	490 (5 000)

**Tabla 2.2.1.f - Valores especificados de resistencias, módulo de elasticidad y módulo de rigidez de tableros de madera de tiras orientadas (OSB) de especies coníferas, MPa (kg/cm<sup>2</sup>)**

Flexión	$f_{fu}'$	6.6 (65) 2.7 (26)
Tensión	$f_{tu}'$	3.6 (35) 2.7 (26)
Compresión		
En el plano del tablero	$f_{cu}'$	5.3 (52)
Perpendicular al plano del tablero	$f_{nu}'$	4.6 (45)
Cortante		
A través del grosor	$f_{vu}'$	2.7 (26)
En el plano del tablero	$f_{tu}'$	0.4 (4)
Módulo de elasticidad promedio		
En dirección longitudinal del tablero	$E_{0.50}$	7 900 (78 000)
En dirección transversal del tablero		1 600 (16 000)
Módulo de rigidez promedio		
En dirección longitudinal del tablero	$G_{0.50}$	3 300 (32 000)
En dirección transversal del tablero		1 200 (12 000)

**2.2.2** Los valores que se presentan para tableros de OSB aplican para el diseño de tableros estructurales que no presenten un sello de certificación del fabricante en el que establezca la forma de aplicación del tablero. Sin embargo, deberá garantizarse que los valores aquí presentados son aplicables al producto en uso, verificando sus valores de diseño mediante ensayos.

**2.2.3** Si cuenta con un sello de certificación que especifique la forma de uso, ésta se deberá cumplir en lo referente a separación de apoyos en muros y sistemas de piso, entrepiso y techo.

**Tabla 2.2.3.a - Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de elementos de madera laminada de especies coníferas, MPa (kg/cm<sup>2</sup>)**

		Clase estructural		
		24F	20F	16F
Flexión	$f_{fu}'$	18.8 (190)	14.4 (145)	13.1 (135)
Tensión paralela a la fibra	$f_{tu}'$	15.1 (150)	9.8 (100)	6.9 (70)
Compresión paralela a la fibra	$f_{cu}'$	15.8 (160)	10.3 (105)	7.8 (80)
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{nu}'$	3.9 (40)	3.9 (40)	3.9 (40)
Cortante paralelo a la fibra	$f_{vu}'$	1.38 (14)	1.38 (14)	1.38 (14)
Tensión perpendicular a la fibra	$f_{tu}'$	0.448 (4.5)	0.448 (4.5)	0.448 (4.5)
Módulo de elasticidad promedio, $E_x$	$E_{x0.50}$	9 820 (100 000)	9 420 (95 000)	8 920 (90 000)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil, $E_x$	$E_{x0.05}$	7 900 (80 000)	7 400 (75 000)	6 900 (70 000)
Módulo de elasticidad promedio, $E_y$	$E_{y0.50}$	9 420 (95 000)	9 020 (90 000)	7 920 (80 000)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil, $E_y$	$E_{y0.05}$	7 400 (75 000)	6 900 (70 000)	5 900 (60 000)

**Tabla 2.2.3.b - Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de elementos de madera laminada de especies de latifoliadas, MPa (kg/cm<sup>2</sup>)**

		Clase estructural			
		I	II	III	IV
Flexión	$f_{fu}'$	34.0 (345)	23.0 (235)	16.7 (170)	8.3 (84.6)
Tensión paralela a la fibra	$f_{tu}'$	25 (260)	17.5 (170)	11.8 (120)	5.5 (56)
Compresión paralela a la fibra	$f_{cu}'$	22.5 (230)	17.0 (175)	12.5 (130)	5.9 (60)
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{nu}'$	7.8 (80)	5.5 (57)	4.0 (42)	2.0 (20)
Cortante paralelo a la fibra	$f_{vu}'$	2.8 (30)	2.0 (20)	1.5 (15)	1.0 (10)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	17 100 (173 000)	11 800 (121 500)	8 850 (90 000)	6 870 (70 000)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil	$E_{0.05}$	11 800 (121 500)	9 060 (92 000)	79 000 (80 000)	4 400 (45 000)

**Tabla 2.2.3.c Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de bambúes leñosos, MPa (kg/cm<sup>2</sup>)**

		Guadua aculeata	Guadua angustifolia	Bambusa oldhamii
Flexión	$f_{fu}'$	23.2 (235)	25.6 (260)	33.7 (340)
Tensión paralela a la fibra	$f_{tu}'$	20.6 (210)	36.4 (370)	58.1 (590)
Compresión paralela a la fibra	$f_{cu}'$	16.9 (170)	23.7 (240)	20.4 (205)
Cortante paralelo a la fibra	$f_{vu}'$	3.3 (30)	1.9 (18)	2.6 (25)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	18 500 (185 000)	18 500 (185 000)	20 500 (205 000)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5º percentil	$E_{0.05}$	10 000 (100 000)	12 000 (122 000)	12 000 (122 000)

**2.3 Factores de resistencia**

**2.3.1** La tabla 2.3.1 indica los factores de resistencia,  $F_R$ , para madera maciza, tableros contrachapada y de partículas orientadas, y madera laminada. Los factores de resistencia correspondientes a las uniones en estructuras de madera y bambú se tomarán igual a 0.7 en todos los casos.

**Tabla 2.3.1 - Factores de resistencia, para madera maciza, tableros contrachapada y de partículas y madera laminada,  $F_R$**

Acción		Madera maciza, tableros contrachapados y de partículas	Madera laminada
Flexión	$f_{fu}'$	0.8	0.85
Tensión paralela	$f_{tu}'$	0.7	0.80
Compresión paralela y en el plano de las chapas	$f_{cu}'$	0.7	0.85
Compresión perpendicular	$f_{nu}'$	0.9	0.95
Cortante Paralelo a la fibra y a través del espesor en el plano de las chapas	$f_{vu}'$	0.7	0.75

**2.4 Valores modificados de resistencias y rigideces**

**2.4.1 Factores de modificación para madera maciza, madera contrachapada y madera laminada**

En los cálculos de las resistencias y las deformaciones para el diseño de los miembros se toman como valores de la resistencia o del módulo de elasticidad del material el modificado que resulte de multiplicar el valor especificado correspondiente por los factores de modificación apropiados, según 2.4.1.a a 2.4.1.f.

- $K_a$  factor por tamaño de la superficie de apoyo (tabla 2.4.1.d)
- $K_c$  factor por compartición de carga igual a 1.15. Aplicable en sistemas formados por tres o más miembros paralelos, separados 610 mm centro a centro, o menos, dispuestos de tal manera que soporten la carga conjuntamente
- $K_d$  factor por duración de carga (tabla 2.4.1.b)
- $K_f$  factor por tratamiento (tabla 2.4.1.f)
- $K_h$  factor por contenido de humedad (tabla 2.4.1.a)
- $K_p$  factor por peralte (tabla 2.4.1.c). Aplicable a secciones que tengan un peralte  $d$ , menor o igual a 140 mm
- $K_r$  factor por recorte (3.2.4.3)
- $K_t$  factor por temperatura (tabla 2.4.1.e)
- $K_v$  factor por condición de apoyo o compartición de carga en cortante (3.2.4.2)

**Tabla 2.4.1.a - Factores de modificación por contenido de humedad,  $K_h$  (aplicables cuando  $CH \geq 18 \%$ )**

Concepto	$K_h$
a) Madera maciza de coníferas	
Flexión y tensión paralela a la fibra	1.00
Compresión paralela a la fibra	0.80
Compresión perpendicular a la fibra	0.45
Cortante paralelo a la fibra	0.70
Módulo de elasticidad	1.00
b) Madera maciza de latifoliadas	
Flexión y tensión paralela a la fibra	1.00
Compresión paralela a la fibra	0.80
Compresión perpendicular a la fibra	0.45
Cortante paralelo a la fibra	0.85
Módulo de elasticidad	1.00
c) Madera contrachapada y tableros de tiras orientadas, OSB	
Flexión, tensión, cortante a través del grosor y en el plano de las chapas	0.80
Compresión paralela y perpendicular a la cara	0.60
Módulos de elasticidad y rigidez	0.85
d) Madera laminada <sup>[1]</sup>	
Flexión	0.80
Tensión paralela a la fibra	0.80
Compresión paralela a la fibra	0.80
Compresión perpendicular a la fibra	0.45
Cortante paralelo a la fibra	0.70
Módulo de elasticidad	0.83
e) bambú	
Flexión	0.90
Tensión paralela a la fibra	0.65
Compresión paralela a la fibra	0.85
Cortante paralelo a la fibra	0.90
Módulo de elasticidad promedio	0.85

<sup>[1]</sup>Aplicable cuando el contenido de humedad en servicio es de 16% o mayor, como puede ocurrir en construcciones en el exterior o en contacto con el suelo, o en ambientes húmedos.

**Tabla 2.4.1.b - Factores de modificación por duración de carga (aplicables para todos los materiales estructurales del alcance)<sup>[1]</sup>,  $K_d$** 

Condición de carga	$K_d$
Carga continua	0.90
Carga normal: carga muerta más carga viva	1.00
Carga muerta más carga viva en cimbras, obras falsas y techos (pendiente < 5%)	1.25
Carga muerta más carga viva más viento o sismo, y carga muerta más carga viva en techos (pendiente $\geq 5\%$ )	1.33
Carga muerta más carga viva más impacto	1.60

<sup>[1]</sup> No son aplicables a los módulos de elasticidad.

**Tabla 2.4.1.c - Factores de modificación por peralte,  $K_p$ , aplicables a secciones que tengan un peralte,  $d \leq 140$  mm**

Concepto	$K_p$
Flexión	1.25
Tensión y compresión paralelas a la fibra	1.15
Compresión perpendicular a la fibra	1.00
Cortante paralelo a la fibra	1.50
Módulo de elasticidad	1.10

**Tabla 2.4.1.d - Factores de modificación por tamaño de la superficie de apoyo<sup>[1]</sup>,  $K_a$**

Longitud de apoyo o diámetro de rondana, mm	$K_a$
15 o menor	1.80
25	1.40
40	1.25
50	1.20
75	1.15
100	1.10
150 o mayor	1.00

<sup>[1]</sup> Este factor es aplicable solamente cuando la superficie de apoyo diste por lo menos 80 mm del extremo del miembro.

**Tabla 2.4.1.e - Factores de modificación por temperatura de servicio,  $K_T$**

Valor de diseño de referencia	Condiciones de humedad en servicio	$K_T$		
		$T \leq 40^\circ\text{C}$	$40^\circ\text{C} < T \leq 50^\circ\text{C}$	$50^\circ\text{C} < T \leq 65^\circ\text{C}$
$f_{tu}, E_{0.50}, E_{0.05}$	Húmeda o seca	1.0	0.9	0.9
$f_{fu}, f_{vu}, f_{cu}$ y $f_{nu}$	Seca	1.0	0.8	0.7
	Húmeda	1.0	0.7	0.5

**Tabla 2.4.1.f - Factores de modificación por tratamiento preservador,  $K_f$**

	Tratamiento preservador	Tratamiento con retardante de fuego
Madera laminada	1.00	0.90
Madera maciza	1.00	0.90

## 2.4.2 Factores de modificación para uniones

En los cálculos de las resistencias y las deformaciones para el diseño de uniones se toman como valores de la resistencia el modificado que resulte de multiplicar el valor especificado del elemento de unión correspondiente por los factores de modificación apropiados, según 2.4.2.a a 2.4.2.h.

- $J_h$  factor por contenido de humedad (tabla 2.4.2.a)
- $J_g$  factor por grupo de conectores para pernos y pijas (tabla 2.4.2.b)
- $J_d$  factor por duración de carga (tabla 2.4.2.c)
- $J_{gp}$  factor por grosor de piezas laterales en pernos y pijas (tabla 2.4.2.d)
- $J_{di}$  factor para clavos para diafragmas igual a 1.3
- $J_{gc}$  factor por grosor de piezas laterales en clavos (tabla 2.4.2.e)
- $J_a$  factor para clavos lanceros (tabla 2.4.2.f)
- $J_p$  factor para clavos hincados paralelamente a la fibra igual a 0.6
- $J_n$  factor por carga perpendicular a la fibra en pijas (tabla 2.4.2.g)
- $J_{dp}$  factor por doblado de la punta en clavos (tabla 2.4.2.h)

**Tabla 2.4.2.a - Factor de modificación por contenido de humedad en uniones,  $J_h$**

Condición de la madera cuando se fabrica la unión	Seca $CH \leq 18\%$		Húmeda $CH > 18\%$	
	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda
Condición de servicio				
Pernos y pijas				
Compresión paralela a la fibra	1.0	0.67	1.0	0.67
Compresión perpendicular y pijas en extracción	1.0	0.67	0.4	0.27
Clavos	1.0	0.67	0.8	0.67

**Tabla 2.4.2.b - Factor de modificación por grupo de conectores para pernos y pijas<sup>[1]</sup>,  $J_g$**

a) Para piezas laterales de madera									
Relación de áreas <sup>[2]</sup>	La menor de $A_m$ o $A_s$ , mm <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )		Número de conectores de una hilera						
			2	3	4	5	6	7	8
0.5	8 000	-80	1.00	0.92	0.84	0.76	0.68	0.61	0.55
	8 000 a 18 000	(80 a 180)	1.00	0.95	0.88	0.82	0.75	0.68	0.62
	18 000 a 42 000	(180 a 420)	1.00	0.98	0.96	0.92	0.87	0.83	0.79
	mayor que 42 000	(mayor que 420)	1.00	1.00	0.98	0.95	0.91	0.88	0.85
1.0	8,000	-80	1.00	0.97	0.92	0.85	0.78	0.71	0.65
	8 000 a 18 000	(80 a 180)	1.00	0.98	0.94	0.89	0.84	0.78	0.72
	18 000 a 42 000	(180 a 420)	1.00	1.00	0.99	0.96	0.92	0.89	0.85
	mayor que 42 000	(mayor que 420)	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.93	0.91
b) Para piezas laterales metálicas									
	$A_m$ , mm <sup>2</sup> (cm <sup>2</sup> )		2	3	4	5	6	7	8
	16 000 a 26 000	(160 a 260)	1.00	0.94	0.87	0.80	0.73	0.67	0.61
	26 000 a 42 000	(260 a 420)	1.00	0.95	0.89	0.82	0.75	0.69	0.63
	42 000 a 76 000	(420 a 760)	1.00	0.97	0.93	0.88	0.82	0.77	0.71
	76 000 a 130 000	(760 a 1 300)	1.00	0.98	0.96	0.93	0.89	0.85	0.81
	mayor que 130 000	(mayor que 1 300)	1.00	0.99	0.98	0.96	0.93	0.90	0.87

<sup>[1]</sup> interpolar para valores intermedios;

<sup>[2]</sup> relación de áreas  $A_m/A_s$  o  $A_s/A_m$ , la que resulte menor, donde:

$A_m$  Área bruta del miembro principal

$A_s$  Suma de las áreas brutas de los miembros laterales.

**Tabla 2.4.2.c - Factor de modificación por duración de carga en uniones,  $J_d$**

Condición de carga	$J_d$
Carga continua	0.90
Carga normal: carga muerta más carga viva	1.00
Carga muerta más carga viva en cimbras, obras falsas y techos (pendiente < 5 %)	1.25
Carga muerta más carga viva más viento o sismo y carga muerta más carga viva en techos (pendiente $\geq$ 5 %)	1.33
Carga muerta más carga viva más impacto	1.60

**Tabla 2.4.2.d - Factor de modificación por grosor de piezas laterales de madera y metálicas para pernos y pijas,  $J_{gp}$**

Para piezas laterales de madera en pijas <sup>[1]</sup>	$\geq 3.5D$	1.00
	$2.0D$	0.60
Para piezas metálicas en pernos y pijas		1.50

<sup>[1]</sup> para valores intermedios de grosores de piezas laterales hacer una interpolación lineal; donde  $D$  es el diámetro de la pija.

**Tabla 2.4.2.e - Factor de modificación por grosor de piezas laterales de madera para clavos,  $J_{gc}$** 

Grosor de la pieza lateral <sup>[1]</sup>	$J_{gc}$
1/3	1.00
1/6	0.50

<sup>[1]</sup> para valores intermedios de grosores de piezas laterales hacer una interpolación lineal; donde  $l$  es el diámetro de la pija.

**Tabla 2.4.2.f - Factor de modificación para clavos lanceros,  $J_a$** 

Condición de carga	$J_a$
Clavo lancero	0.80
Clavo normal	1.00

**Tabla 2.4.2.g - Factor de modificación por carga lateral perpendicular a las fibras para pijas,  $J_n$** 

Diámetro de la pija, mm	$J_n$
6.4	0.97
9.5	0.76
12.7	0.65
15.9	0.60
19.1	0.55
22.2	0.52
25.4	0.50

**Tabla 2.4.2.h - Factor de modificación por doblado de la punta de clavos,  $J_{dp}$** 

Condición	$J_{dp}$
Cortante simple	1.6
Cortante doble <sup>[1]</sup>	2.0

<sup>[1]</sup> las piezas laterales deberán tener un grosor cuando menos igual a la mitad del grosor de la pieza central.

## 2.5 Factor de comportamiento sísmico para estructuras de madera

**2.5.1** Los factores de comportamiento sísmico y distorsiones de entrepiso (desplazamientos) permisibles, para estructuras cuya resistencia a fuerzas horizontales sea suministrada por sistemas estructurales a base de elementos de madera o bambú se encuentran en la tabla correspondiente de la NTC-Sismo: Capítulo 4. Factores de Comportamiento Sísmico y Distorsiones Permisibles.

**2.5.2** Para estructuras de madera del grupo B podrá utilizarse el método de análisis estático indicado en el Capítulo 6 de la NTC Sismo calculando los valores de las fuerzas de cortante con los métodos descritos en las secciones 6.3 de dichas Normas. Las fuerzas sísmicas podrán reducirse si se cumplen los criterios señalados en las secciones 6.4 de las citadas Normas. El método estático del capítulo 6 es aceptable cuando se cumplan los requisitos establecidos en ese capítulo.

**2.5.3** Si se desea utilizar el método de análisis dinámico modal espectral indicado en 7.2 de la NTC-Sismo, se deberá contar con información detallada del suelo donde se hará la construcción, de las aceleraciones máximas del terreno, así como de todos los parámetros de resistencia y los períodos fundamentales de vibración de la estructura

## **2.6 Encharcamiento en techos planos**

**2.6.1** Cada porción del techo debe diseñarse para sostener el peso del agua de lluvia y granizo que pudiera acumularse sobre ella cuando el sistema de drenaje no funcione correctamente. Los detalles de las cargas debidas a granizo y estancamiento de agua en cubiertas y azoteas se encuentran en la sección 7 de las NTC-Criterios.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

### 3. RESISTENCIAS DE DISEÑO DE MIEMBROS DE MADERA MACIZA

#### 3.1 Miembros en tensión

3.1.1 El valor de la resistencia para diseñar elementos sujetos a tensión paralela a la fibra se obtiene con la expresión

$$T_R = F_R f_m A_n \tag{3.1.1}$$

donde:

- $f_{tu} = f_{tu}' K_h K_d K_c K_p$  (2.4 y 2.4.1)
- $A_n =$  área neta
- $F_R =$  factor de resistencia, igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

3.1.2 El área neta se define como la que resulta de restar de la sección bruta el área proyectada del material eliminado por horadaciones para pernos u otros fines. En miembros de madera con perforaciones en trespolillo para pernos o pijas se consideran en la sección crítica analizada las perforaciones adyacentes cuya separación sea igual o menor que ocho diámetros.

#### 3.2 Miembros bajo cargas transversales

##### 3.2.1 Requisitos generales

###### 3.2.1.1 Claro de cálculo

3.2.1.1.1 El claro de diseño para vigas simplemente apoyadas se toma como la distancia entre los paños de los apoyos más la mitad de la longitud requerida en cada apoyo para que no se exceda la resistencia al aplastamiento definida en 3.5.1. En vigas continuas, el claro de cálculo se mide desde los centros de los apoyos continuos.

###### 3.2.1.2 Recortes

3.2.1.2.1 Se permiten recortes, rebajes o ranuras siempre que su profundidad no exceda de un cuarto del peralte del miembro en los apoyos ni de un sexto del peralte en las porciones alejadas de los apoyos y que queden fuera del tercio medio. La longitud de recortes alejados de los apoyos se limita a un tercio del peralte (Fig. 3.2.1.2.1).

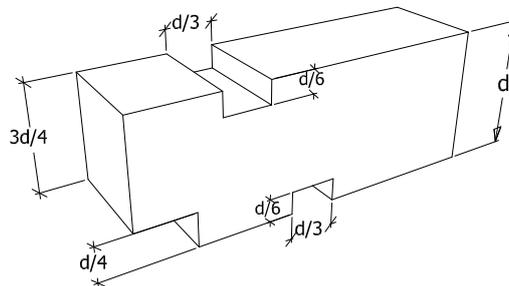


Figura 3.2.1.2.1 - Recortes permitidos en elementos a flexión

##### 3.2.2 Resistencia a flexión

3.2.2.1 La resistencia de diseño,  $M_R$ , de miembros sujetos a flexión se obtiene por medio de la expresión

$$M_R = F_R \cdot f_{fu} \cdot S \cdot \phi \tag{3.2.2.1}$$

donde:

- $f_{fu}$  =  $f_{fu}' K_f K_d K_c K_p$ , (2.4 y 2.4.1)
- $S$  = módulo de sección
- $\phi$  = factor de estabilidad lateral según 3.2.3
- $F_R$  = se tomará igual a 0.8 (tabla 2.3.1).

### 3.2.3 Estabilidad lateral

#### 3.2.3.1 Requisitos generales

**3.2.3.1.1** Para vigas sin soportes laterales en sus apoyos que impidan la traslación y la rotación de sus extremos, el factor de estabilidad lateral,  $\phi$ , puede tomarse igual a la unidad, si la relación entre el peralte y el grosor de la viga no excede de 1.0. Cuando dicha relación es mayor que 1.0 debe proporcionarse soporte lateral en los apoyos, de manera que se impida la traslación y la rotación de los extremos de la viga; el valor de  $\phi$  se determina de acuerdo con 3.2.3.2, excepto en los casos en que se cumplan las condiciones dadas en la tabla 3.2.1, cuando puede tomarse la unidad como valor de  $\phi$ . Las reglas de las secciones siguientes son aplicables a miembros sujetos tanto a flexión simple como a flexo-compresión.

**Tabla 3.2.1 Relaciones d/b máximas admisibles para las cuales puede tomarse  $\phi = 1$**

Condición de soporte lateral <sup>[1]</sup>	Relación máxima d/b
a) Cuando no existan soportes laterales intermedios	4.0
b) Cuando el miembro se mantenga soportado lateralmente por la presencia de cuando menos una vigueta o tirante al centro del claro	5.0
c) Cuando la cara de compresión del miembro se mantenga soportada lateralmente por medio de una cubierta de madera contrachapada o duela, o por medio de viguetas con espaciamiento $\leq 610$ mm	6.5
d) Cuando se cumplan las condiciones del inciso c, y además exista bloqueo o arrostramiento lateral a distancias no superiores a $8d$	7.5
e) Cuando la cara de compresión como la de tensión se mantenga eficazmente soportada lateralmente	9.0

<sup>[1]</sup> En todos los casos deberá existir soporte lateral en los apoyos de manera que se impida la traslación y la rotación de la viga.

#### 3.2.3.2 Vigas laminadas verticalmente

**3.2.3.2.1** El cálculo del soporte lateral de las vigas laminadas verticalmente, hechas con dos o más miembros del mismo peralte, que estén efectivamente unidas entre sí, a intervalos que no excedan cuatro veces el peralte, puede basarse en el ancho total de la viga.

#### 3.2.3.3 Cálculo del factor de estabilidad lateral, $\phi$

- a) Longitud sin soporte lateral,  $L_u$ 
  - 1) Cuando no existan soportes laterales intermedios, la longitud sin soportes laterales,  $L_u$ , se toma como la distancia centro a centro entre apoyos; en voladizos, se toma como su longitud
  - 2) Cuando existan viguetas perpendiculares a la viga, conectadas a ésta de manera que impidan el desplazamiento lateral de la cara de compresión,  $L_u$ , se toma como el espaciamiento máximo entre viguetas
  - 3) Cuando la cara de compresión de la viga esté soportada en toda su longitud de manera que los desplazamientos laterales queden impedidos,  $L_u$  puede tomarse igual a cero. Para poder considerar que la cubierta proporciona suficiente restricción lateral debe estar firmemente unida a la viga y a los miembros periféricos de manera que se forme un diafragma rígido.

b) Factor de esbeltez,  $C_s$ 

El factor de esbeltez,  $C_s$ , se determina con la expresión

$$C_s = \sqrt{\frac{L_u d}{b^2}} \quad (3.2.3.3.a)$$

donde:

$L_a$  = longitud sin soporte lateral, en mm, evaluada según tabla 3.2.3.3.

$L_u$  =  $L_u(L_a)$

c) Determinación del factor de estabilidad lateral,  $\phi$ 

El valor del factor de estabilidad lateral,  $\phi$ , se determina con la expresión:

$$\phi = \frac{1 + \left(\frac{f_{f,E}}{f_{fu}}\right)}{1.9} - \sqrt{\left[ \frac{1 + \left(\frac{f_{f,E}}{f_{fu}}\right)}{1.9} \right]^2 - \frac{f_{f,E}}{0.95 f_{fu}}} \quad (3.2.3.3.b)$$

donde:

$$f_{f,E} = \frac{C_{fE} * E_{0,05}}{C_s^2}$$

$C_{fE}$  = 1.20 para madera aserrada

$C_{fE}$  = 1.66 para madera laminada.

No se admiten vigas cuyo factor de esbeltez,  $C_s$ , sea superior a 50.

**Tabla. 3.2.3.3 - Longitudes efectivas para cálculo de estabilidad lateral en vigas**

Condición de carga	Soporte lateral en el punto de carga	Longitud efectiva, $L_e$
<b>Vigas con un solo claro</b>		
Carga uniformemente distribuida	No	$L_e = 1.63L_a + 3d$
Carga concentrada al centro	No	$L_e = 1.37L_a + 3d$
	Sí	$L_e = 1.11L_a$
Dos cargas concentradas iguales @ 1/3 del claro	No	$1.84L_a < L_e < 2.06L_a$
	Sí	$L_e = 1.68L_a$
Tres cargas concentradas @ 1/4 del claro	No	$1.84L_a < L_e < 2.06L_a$
	Sí	$L_e = 1.54L_a$
Cuatro cargas concentradas @ 1/5 del claro	No	$1.84L_a < L_e < 2.06L_a$
	Sí	$L_e = 1.68L_a$
Cinco cargas concentradas @ 1/6 del claro	No	$1.84L_a < L_e < 2.06L_a$
	Sí	$L_e = 1.73L_a$
Seis cargas concentradas @ 1/7 del claro	No	$1.84L_a < L_e < 2.06L_a$
	Sí	$L_e = 1.78L_a$
Siete cargas concentradas @ 1/8 del claro	No	$1.84L_a < L_e < 2.06L_a$
	Sí	$L_e = 1.84L_a$
Ocho o más cargas concentradas @ separaciones iguales	No	$1.84L_a < L_e < 2.06L_a$
	Sí	$L_e = 1.84L_a$
Momentos iguales en los extremos (rotación opuesta)	-	$L_e = 1.84L_a$
Momentos iguales en los extremos (rotación igual)	-	$1.84L_a < L_e < 2.06L_a$
<b>Vigas en voladizo</b>		
Carga uniformemente distribuida	No	$L_e = 0.90L_a + 3d$
Carga concentrada en el extremo libre	No	$L_e = 1.44L_a + 3d$

Nota:

Para cualquier condición de carga no considera en esta tabla, se tomará la condición más desfavorable:

$$1.84L_a < L_e < 2.06L_a$$

### 3.2.3.4 Vigas de sección transversal circular

3.2.3.4 Se considerará que una viga de sección transversal circular tiene la misma resistencia en flexión que un elemento de sección transversal cuadrada que tenga la misma área en su sección transversal. Si la viga está ahusada, se diseñará como un elemento de sección transversal cuadrada con sección transversal variable.

### 3.2.4 Resistencia al cortante en miembros a flexión

#### 3.2.4.1 Resistencia al cortante paralelo a la fibra (cortante horizontal)

3.2.4.1.1 El esfuerzo actuante en cortante paralelo a la fibra o la fuerza cortante en cualquier sección transversal de miembros a flexión no deberá exceder el valor modificado de resistencia al cortante paralelo a la fibra.

3.2.4.1.2 En miembros a flexión no se requiere revisar el cortante perpendicular a la fibra

3.2.4.1.3 Los esfuerzos de diseño por cortante horizontal especificados en estas normas son aplicables a miembros de madera maciza, madera pegada laminada, madera compuesta o madera laminada unida con conectores mecánicos. El diseño por

cortante de miembros armados que contengan conexiones que transmitan cargas en o cerca de los puntos de apoyo, tales como las uniones entre el alma y la cuera de una armadura, deberán basarse en pruebas de laboratorio u otras técnicas.

### 3.2.4.2 Resistencia a cortante de diseño

3.2.4.2.1 La resistencia a cortante de diseño paralelo a la fibra,  $V_R$ , se calcula con la ecuación general

$$V_R = \frac{F_R f_{vu} I b}{Q} \quad (3.2.4.2.1)$$

donde:

$I$  = momento de inercia de la sección transversal

$b$  = ancho de la sección transversal

$Q$  = primer momento de área de la sección transversal.

3.2.4.2.2 La resistencia a cortante de diseño,  $V_R$ , en las secciones críticas de vigas de sección transversal rectangular se obtiene por medio de la expresión

$$V_R = \frac{F_R f_{vu} b d}{1.5} \quad (3.2.4.2.2)$$

donde:

$$f_{vu} = f_{vu}' K_h K_d K_c K_v K_r \quad (2.4 \text{ y } 2.4.1)$$

$F_R$  se toma igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

Puede considerarse  $K_v = 2$  en los siguientes casos:

- En las secciones críticas de apoyos continuos
- En todas las secciones críticas de vigas de sistemas estructurales con compartición de carga.

En todos los demás casos  $K_v = 1.0$ .

### 3.2.4.3 Sección crítica

3.2.4.3.1 La sección crítica para cortante de vigas sometidas a carga uniforme se toma a una distancia del apoyo igual al peralte de la viga,  $d$ . Para vigas bajo cargas concentradas aplicadas en una distancia menor al peralte de la viga, el valor de la carga concentrada se podrá multiplicar por un factor igual a  $x/d$  donde  $x$  es la distancia de la cara de apoyo de la viga al punto de aplicación de la carga (fig. 3.2.4.3.1).

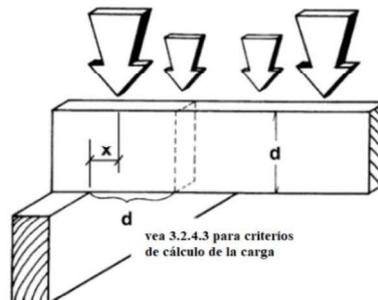


Fig. 3.2.4.3.1 - Fuerza cortante en los apoyos

**3.2.4.4 Factor de recorte,  $K_r$**

3.2.4.4.1 El factor de recorte,  $K_r$ , se calcula de acuerdo con las siguientes expresiones:

a) Recorte en el apoyo en la cara de tensión

$$K_r = \left(1 - \frac{d_r}{d}\right)^2 \tag{3.2.4.4.1.a}$$

b) Recorte en el apoyo en la cara de compresión y  $e_r \geq d$

$$K_r = 1 - \frac{d_r}{d} \tag{3.2.4.4.1.b}$$

c) Recorte en el apoyo en la cara de compresión cuando  $e_r < d$

$$K_r = 1 - \frac{d_r e_r}{d(d - d_r)} \tag{3.2.4.4.1.c}$$

**3.3 Miembros sujetos a combinaciones de momento y carga axial de compresión**

**3.3.1 Requisito general**

3.3.1.1 Toda columna debe dimensionarse como miembro sujeto a flexo-compresión independientemente de que el análisis no haya indicado la presencia de momento (ver fig. 3.3.1.1).

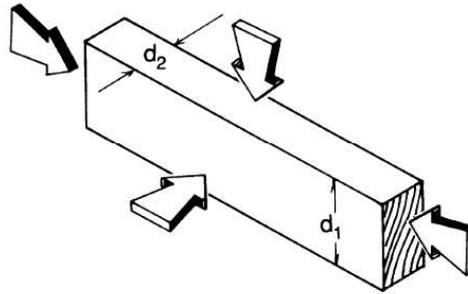


Figura 3.3.1.1 - Miembro sujeto a momento y carga axial de compresión

**3.3.2 Fórmula de interacción para flexión uniaxial**

3.3.2.1 Los miembros sujetos a compresión y flexión uniaxial deben satisfacer la siguiente condición

$$\left(\frac{f_{uc}}{f_{cr}}\right)^2 + \frac{f_{uf}}{f_{ju} \left[1 - \left(\frac{f_{uc}}{f_{c,E}}\right)\right]} \leq 1 \tag{3.3.2.1.a}$$

donde:

$f_{uc}$  = esfuerzo de compresión último actuante =  $P_u/A$

$f_{cu}$  = valor modificado de esfuerzo en compresión paralela a la fibra, multiplicado por todos los factores de ajuste aplicables excepto  $K_e$ , MPa (kg/cm<sup>2</sup>)

$f_{cr}$  =  $f_{cu}' K_h K_d K_c K_e K_p$  (2.4 y 2.4.1)

$f_{uf}$  = esfuerzo de flexión último actuante

$$f_{c,E} = \frac{K_{cE} E_{0,05}}{\left(\frac{L_e}{d}\right)^2}$$

$K_{cE}$  = 0.822 para madera aserrada y postes con sección transversal circular

$K_{cE}$  = 0.855 para madera laminada

$d$  = diámetro de poste o pilote, definido en 3.3.3

$K_e$  = factor de estabilidad de columnas calculado como sigue:

$$K_e = \frac{1 + \left(\frac{f_{c,E}}{f_{cu}}\right)}{2c} - \sqrt{\left[ \frac{1 + \frac{f_{c,E}}{f_{cu}}}{2c} \right]^2 - \frac{f_{c,E}}{c}} \quad (3.3.2.1.b)$$

$c$  = 0.8 para madera aserrada

$c$  = 0.85 para postes con sección transversal circular

$c$  = 0.9 para madera laminada.

**3.3.2.2** Cuando un miembro en compresión está soportado completamente a lo largo de su longitud para prevenir el desplazamiento lateral en todas direcciones,  $K_e = 1.0$ .

Nota: Las ecuaciones para valores modificados de esfuerzos en miembros sujetos a flexo-compresión son aplicables a columnas que tengan sección transversal rectangular. Para miembros con secciones transversales de formas distintas, se debe sustituir el valor de  $d$  por  $r\sqrt{12}$ , donde  $r$  es el radio de giro de la sección.

### 3.3.3 Postes y pilotes de sección transversal circular

**3.3.3.1** Se considerará que un poste o pilote de sección transversal circular tiene la misma resistencia en flexión que un elemento de sección transversal cuadrada que tenga la misma área en su sección transversal. Si el poste o pilote está ahusado, se diseñará como un elemento de sección transversal cuadrada con sección transversal variable.

### 3.3.4 Efectos de esbeltez

Los efectos de esbeltez se toman en cuenta a través del factor de estabilidad de columnas, de acuerdo con lo previsto en 3.3.2. En el caso de columnas compuestas de dos o más elementos, la esbeltez se considera de manera independiente para cada elemento a no ser que se prevea un dispositivo que una los extremos de los elementos rígidamente y espaciadores adecuados

#### 3.3.4.1 Longitud sin soporte lateral

**3.3.4.1.1** La longitud sin soporte lateral,  $L_u$ , de miembros bajo compresión se toma como la distancia centro a centro entre soportes laterales capaces de proporcionar una fuerza de restricción lateral por lo menos igual al cuatro por ciento de la carga axial sobre el miembro. Esta fuerza también debe ser suficiente para resistir los efectos de los momentos en los extremos y las cargas laterales que pudieran existir.

#### 3.3.4.2 Longitud efectiva

**3.3.4.2.1** Los miembros en compresión se dimensionan considerando una longitud efectiva,  $L_e = k L_u$  Para miembros bajo compresión, arriostrados contra desplazamientos laterales se toma  $k = 1.0$ , salvo que se justifique un valor menor. Para miembros en compresión sin arriostramiento contra desplazamientos laterales,  $k$  se determina por medio de un análisis.

**3.3.4.3 Limitaciones**

**3.3.4.3.1** No se admiten valores de  $k L_u/r$  superiores a 120.

**3.3.5 Momentos en los extremos**

**3.3.5.1** Todos los miembros bajo compresión deben dimensionarse para una excentricidad en cada extremo igual al mayor de los siguientes valores:

- La correspondiente al máximo momento asociado a la carga axial
- 0.05 de la dimensión del miembro paralela al plano de flexión considerado. Se supone que esta excentricidad ocasiona flexión uniaxial y curvatura simple únicamente.

**3.3.6 Momentos debidos a encorvadura**

**3.3.6.1** Todos los miembros bajo compresión deben dimensionarse para una excentricidad

$$e_b = \frac{L_u}{300} \quad (3.3.6.1)$$

considerando que dicha excentricidad se presenta a la mitad de la distancia entre soportes laterales. Se considera que los momentos por encorvadura actúan en el mismo plano y en el mismo sentido que los momentos de 3.3.6.

**3.3.7 Fórmula de interacción para flexión biaxial**

**3.3.7.1** Los miembros bajo compresión sujetos a flexión biaxial deberán satisfacer la siguiente condición

$$\left(\frac{f_c}{f_{cu}}\right)^2 + \frac{f_{fx}}{\left(1 - \frac{f_c}{f_{cEx}}\right) f_{fu}} + \frac{f_{fy}}{\left[1 - \frac{f_c}{f_{cEy}} - \left(\frac{f_{fx}}{f_{fu}}\right)^2\right] f_{fu}} \leq 1.0 \quad (3.3.7.1.a)$$

donde:

$$f_c < f_{cEx} = \frac{0.822 E_{x,0.05}}{\left(\frac{Le}{d}\right)^2} \quad (3.3.7.1.b)$$

$$f_c < f_{cEy} = \frac{0.822 E_{y,0.05}}{\left(\frac{Le}{d}\right)^2} \quad (3.3.7.1.c)$$

$$f_c < f_{cEx} = \frac{1.2 E_{y,0.05}}{C_s^2} \quad (3.3.7.1.d)$$

### 3.4 Miembros sujetos a combinaciones de momento y carga axial de tensión

#### 3.4.1 Momento uniaxial y tensión

3.4.1.1 Los miembros sujetos a momento uniaxial y tensión deben satisfacer la siguiente condición

$$\frac{T_u}{T_R} + \frac{M_u}{M_R} \leq 1 \quad (3.4.1.1)$$

donde los numeradores son acciones de diseño y los denominadores son resistencias de diseño.

#### 3.4.2 Momento biaxial y tensión

3.4.2.1 Los miembros sujetos a momento biaxial y tensión deben satisfacer la siguiente condición

$$\frac{T_u}{T_R} + \frac{M_{xu}}{M_{xR}} + \frac{M_{yu}}{M_{yR}} \leq 1 \quad (3.4.2.1)$$

donde:

- $M_{xu}$  = momento último actuante de diseño, respecto al eje X
- $M_{yu}$  = momento último actuante de diseño, respecto al eje Y
- $M_{xR}$  = momento resistente de diseño, respecto al eje X
- $M_{yR}$  = momento resistente de diseño, respecto al eje Y.

### 3.5 Compresión o aplastamiento actuando con un ángulo $\theta$ respecto a la fibra de la madera diferente de $0^\circ$

#### 3.5.1 Resistencia a compresión perpendicular a la fibra ( $\theta = 90^\circ$ )

3.5.1.1 La resistencia de diseño,  $N_R$ , de miembros sujetos a compresión perpendicular a la fibra se obtiene por medio de la siguiente expresión

$$N_R = F_R f_{nu} A_a \quad (3.5.1.1)$$

donde:

- $f_{nu}$  =  $f_{nu}' = K_h K_d K_c K_a$  (2.4 y 2.4.1)
- $A_a$  = área de la superficie de apoyo
- $F_R$  = se toma igual a 0.9 (tabla 2.3.1).

#### 3.5.2 Efecto del tamaño de la superficie de apoyo

3.5.2.1 Cuando la longitud de una superficie de apoyo o el diámetro de una rondana sea menor que 150 mm y ninguna porción de dicha superficie se encuentre a menos de 80 mm del extremo del miembro, la resistencia al aplastamiento puede modificarse con el factor  $K_a$  de la tabla 2.4.1.d.

#### 3.5.3 Cargas aplicadas a un ángulo $\theta$ con respecto a la dirección de la fibra

3.5.3.1 La resistencia a compresión de diseño,  $N_R$ , sobre un plano con un ángulo respecto a la fibra se obtiene por medio de la siguiente expresión

$$N_R = F_R \frac{f_{cu} f_m}{f_{cu} \text{sen}^2 \theta + f_m \text{cos}^2 \theta} \quad (3.5.3.1)$$

donde  $F_R$  se toma igual a 0.9.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

## 4. RESISTENCIA DE DISEÑO DE TABLEROS A BASE DE MADERA

### 4.1 Requisitos del material

**4.1.1** La manufactura de los tableros de madera contrachapada que vayan a ser sometidas a acciones deberá cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-438-ONNCCE (2014).

**4.1.2** Las propiedades de resistencia y rigidez de estos productos deben ser determinadas experimentalmente para el tipo de acción a que vayan a estar sometidos en la estructura y su comportamiento estructural debe estar sujeto a criterios aprobados por las autoridades competentes. Cuando los tableros se utilicen para soportar cargas en estructuras permanentes deberán ser del Tipo 3 definido en la norma (exterior a prueba de agua) y la calidad de las chapas exteriores deben ser C o D de acuerdo con esa misma norma.

**4.1.3** En el Apéndice A se presentan las propiedades de la sección para una serie de combinaciones adecuadas de chapas para tableros de madera contrachapada. Las propiedades de la sección para cualquier otro tipo de combinación deben ser calculadas a partir de los grosores de las chapas utilizadas con el procedimiento ahí descrito.

### 4.2 Orientación de los esfuerzos

**4.2.1** Los tableros de madera contrachapada y las de OSB son un material ortotrópico y, por lo tanto, las propiedades efectivas de la sección usadas en los cálculos serán las correspondientes a la orientación de la fibra de las chapas exteriores prevista en el diseño.

### 4.3 Resistencia a carga axial

#### 4.3.1 Resistencia a tensión

**4.3.1.1** La resistencia de diseño,  $T_R$ , a tensión paralela al canto de un tablero de madera contrachapada se calculará como

$$T_R = F_R f_{tu} A_1 \quad (4.3.1.1)$$

donde:

$$f_{tu} = F_{tu} K_h K_d \quad (2.4 \text{ y } 2.4.1)$$

$$A_1 = \text{área efectiva de la sección transversal en la dirección considerada (Apéndice A)}$$

$$F_R = \text{se tomará igual a } 0.7 \text{ (tabla 2.3.1).}$$

#### 4.3.2 Resistencia a compresión

**4.3.2.1** La resistencia de diseño,  $P_R$ , a compresión paralela al canto de un tablero de madera contrachapada restringida contra el pandeo se calculará como

$$P_R = F_R f_{cu} A_1 \quad (4.3.2.1)$$

donde:

$$f_{cu} = f_{cu} K_h K_d \quad (2.4 \text{ y } 2.4.1)$$

$$A_1 = \text{área efectiva de la sección transversal en la dirección considerada (Apéndice A)}$$

$$F_R = \text{se tomará igual a } 0.7 \text{ (tabla 2.3.1).}$$

### 4.3.3 Resistencia a tensión o compresión a un ángulo $\theta$ con la fibra de las chapas exteriores

4.3.3.1 Los valores especificados de resistencia a tensión o compresión para esfuerzos aplicados a 45 grados con respecto a la fibra de las chapas exteriores serán los de la tabla 2.5. Para los cálculos se utilizará el grosor neto,  $t$ , del tablero.

4.3.3.2 Para ángulos entre 0 y 45 grados con respecto a la orientación de la fibra en las chapas exteriores, puede hacerse una interpolación lineal entre el producto del área y el valor modificado de resistencia para la dirección paralela y el producto similar para el ángulo de 45 grados. Para ángulos entre 45 y 90 grados puede hacerse una interpolación lineal entre el producto del área y el valor modificado de resistencia correspondientes a 45 grados y el producto similar para la dirección perpendicular.

## 4.4 Tableros en flexión

### 4.4.1 Flexión con cargas normales al plano del tablero

4.4.1.1 La resistencia de diseño,  $M_p$ , de un tablero de madera contrachapada sujeta a flexión por cargas perpendiculares al plano del tablero se determinará con la ecuación

$$M_p = F_R f_{fu} S_1 \quad (4.4.1.1)$$

donde:

$$\begin{aligned} f_{fu} &= f_{fu}' K_h K_d \quad (2.4 \text{ y } 2.4.1) \\ S_1 &= \text{módulo de sección efectivo del tablero (Apéndice A)} \\ F_R &= \text{se tomará igual a } 0.9 \text{ (tabla 2.3.1).} \end{aligned}$$

### 4.4.2 Flexión con cargas en el plano del tablero

4.4.2.1 La resistencia de diseño,  $M_Q$ , de un tablero de madera contrachapada sujeta a flexión por cargas en su plano y que esté adecuadamente arriostrada para evitar pandeo lateral se calculará como

$$M_Q = F_R f_{tu} \frac{t_p d^2}{6} \quad (4.4.2.1)$$

donde:

$$\begin{aligned} f_{tu} &= f_{tu}' K_h K_d \quad (2.4 \text{ y } 2.4.1) \\ t_p &= \text{grosor efectivo del tablero de madera contrachapada (Apéndice A)} \\ d &= \text{peralte del elemento} \\ F_R &= \text{se tomará igual a } 0.7 \text{ (tabla 2.3.1).} \end{aligned}$$

## 4.5 Resistencia a cortante

### 4.5.1 Cortante en el plano de las chapas debido a flexión

4.5.5.1 La resistencia de diseño a cortante en el plano de las chapas,  $V_{R1}$ , para tableros sujetos a flexión se calculará como

$$V_{R1} = F_R \frac{I b}{Q} f_{rv} \quad (4.5.5.1)$$

donde:

$$f_{ru} = f_{ru}' K_h K_d \text{ (2.4 y 2.4.1)}$$

$$\frac{I_b}{Q} = \text{constante para cortante por flexión (Apéndice A)}$$

$$F_R = \text{se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).}$$

#### 4.5.2 Cortante a través del grosor

4.5.2.1 La resistencia de diseño a cortante a través del grosor,  $V_{R2}$ , de una placa de madera contrachapada se calculará como

$$V_{R2} = F_R f_{vgu} A \quad (4.5.2.1)$$

donde:

$$f_{vgu} = f_{vgu}' K_h K_d \text{ (2.4 y 2.4.1)}$$

$$A = \text{área total de la sección transversal del tablero}$$

$$F_R = \text{se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).}$$

#### 4.6 Aplastamiento

4.6.1 La resistencia de diseño al aplastamiento normal al plano de las chapas,  $N_R$ , se calculará como:

$$N_R = F_R f_{nu} A_a \quad (4.6.1)$$

donde:

$$f_{nu} = f_{nu}' K_h K_d \text{ (2.4 y 2.4.1);}$$

$$A_a = \text{área de la superficie de apoyo; y}$$

$$F_R = \text{se tomará igual a 0.9 (tabla 2.3.1).}$$

Espacio en blanco dejado de manera intencional

## 5. RESISTENCIA DE DISEÑO DE MADERA LAMINADA

### 5.1 Consideraciones generales

**5.1.1** El capítulo 5 aplica al diseño estructural de madera laminada encolada. Aquí se presentan los requerimientos básicos de diseño. Los procedimientos de diseño, valores de diseño de referencia y toda la información presentada aplican solamente a la madera estructural laminada encolada fabricada conforme a los criterios descritos en 5.5 de estas normas.

### 5.2 Definición

**5.2.1** El término “madera laminada encolada” se refiere a un producto calculado con bases técnicas, con láminas de madera clasificada, que comprenden ensambles de láminas de madera especialmente seleccionadas y preparadas y unidas entre sí con adhesivos resistentes a la humedad. El hilo o fibra de todas las láminas es esencialmente paralelo al eje longitudinal de la pieza. Las láminas individuales no deben exceder un grosor neto de 50 mm y se permite que consten de:

- a) Una sola pieza
- b) Piezas unidas en los extremos para lograr cualquier longitud
- c) Piezas unidas con adhesivo en los cantos para formar piezas más anchas
- d) Piezas dobladas en forma curva al momento de ensamblarse.

### 5.3 Requisitos de fabricación

**5.3.1** Para que se puedan emplear los valores de la Tablas 2.2.3.a y 2.2.3.b, los miembros laminados deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- a) Las láminas que se empleen en la fabricación de los miembros laminados deben ser sometidas a un proceso de secado previo a la fabricación, en cámaras de secado apropiadas y deben tener un contenido de humedad no mayor a 12% al momento de ser ensambladas
- b) Las láminas de madera de coníferas mexicanas deberán ser clasificadas con la Norma Mexicana NMX-C-239 (2014). Las láminas externas deben ser de clase “A”, las intermedias de clase “B” y las centrales pueden ser de clase “C”. Para maderas latifoliadas solamente se pueden emplear láminas con la clasificación de ‘Estructural’ de la Norma NMX-C-409 (1999)
- c) Las láminas se encolarán con adhesivo del tipo de uso exterior (fenol-formaldehído, resorcinol, adhesivos de poliuretano o un adhesivo equivalente)
- d) Se formarán y prensarán las láminas orientadas en la dirección longitudinal, dentro de las prensas construidas para el efecto, según el elemento a fabricar, mediante presión continua de un mínimo de 10 horas a temperatura ambiente
- e) Las láminas estarán unidas en los extremos por medio de uniones dentadas (finger joint) para formar un largo continuo o con otra forma de unión que garantice una resistencia semejante.

**5.3.2** Para el cálculo de los elementos laminados se podrán usar los valores de las propiedades geométricas del Apéndice C o los correspondientes a la configuración seleccionada.

Para condiciones o especies diferentes se deberá conseguir la autorización expresa de la Secretaría de Obras y Servicios.

#### 5.3.1 Arreglos balanceados y desbalanceados

**5.3.1.1** Se permite que se ensamblen los miembros de madera laminada encolada con láminas de las mismas clases estructurales colocadas simétrica o asimétricamente con respecto al eje neutro del miembro. Los arreglos balanceados se conocen como “balanceados” y tiene los mismos valores de diseño para momento flexionante positivo o negativo. Los arreglos asimétricos se conocen como “desbalanceados” (o “no balanceados”) y tiene menores valores de diseño para momento flexionante negativo que para momento positivo (el esfuerzo de tensión en la parte inferior de la viga en claros simples). El canto superior de un miembro desbalanceado deberá ser marcado con la palabra “ARRIBA” por el fabricante. Los arreglos no balanceados están previstos fundamentalmente para claros simples o tramos cortos de vigas en voladizo.

## 5.4 Tamaños estándar

**5.4.1** Los anchos acabados estándar de dimensiones normalizadas serán como se muestra en la Tabla 5.4.1. Podrán usarse otros anchos terminados cuando el diseño así lo requiera. Deben especificarse la longitud y las dimensiones netas de las piezas. También deben especificarse todas las dimensiones necesarias para definir miembros no prismáticos.

**Tabla 5.4.1 Anchos terminados netos de madera estructural laminada**

Ancho nominal de láminas (mm)	70	89	240	190	240	290	349	390
Ancho neto terminado (mm)	64	80	130	170	220	270	310	360

## 5.5 Condiciones de uso

**5.5.1** Los métodos, datos y tablas de diseño para miembros en flexión, especificados en estas normas, aplican a miembros laminados horizontalmente, con las caras anchas de las láminas perpendiculares a la dirección de aplicación de la carga. Para laminado vertical, véase 5.9.3.

## 5.6 Condiciones de servicio

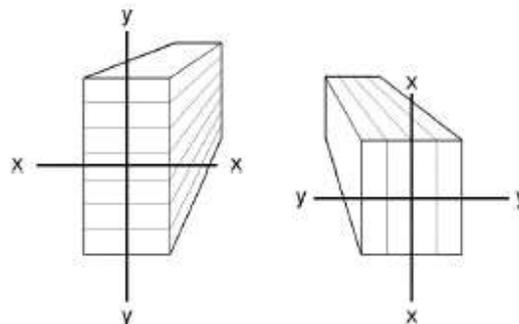
**5.6.1** Los valores especificados para condiciones de servicio secas aplicarán cuando el contenido de humedad en servicio sea menor de 16% como en la mayoría de las estructuras cubiertas. Los valores especificados para madera laminada encolada serán multiplicados por los factores de humedad en servicio húmedo especificados en la tabla 2.4.1.a cuando el contenido de humedad en servicio es de 16% o mayor, como puede ocurrir en construcciones en el exterior o en contacto con el suelo, o en ambientes húmedos.

## 5.7 Valores especificados

**5.7.1** La tabla 2.2.3.a contiene los valores especificados de resistencias y los módulos de elasticidad de elementos de madera laminada de especies coníferas. Los valores de las tablas corresponden a condición seca. La tabla 2.2.3.b contiene los valores correspondientes a las especies latifoliadas.

### 5.7.1 Orientación del miembro

**5.7.1.1** Los valores especificados para miembros de madera laminada encolada dependen de la orientación de las láminas en relación con la dirección de las cargas aplicadas. Se usan subíndices para indicar que los valores especificados corresponden a alguna orientación dada. La orientación de los ejes de la sección transversal para la madera laminada estructural se muestra en la Fig. 5.7.1.1 el eje x – x corre paralelo la cara ancha de las láminas. El eje y -y corre en dirección perpendicular a las caras anchas de las láminas.



**Figura 5.7.1.1 - Orientación de los ejes estructurales**

## 5.8 Ajuste de los valores especificados

### 5.8.1 General

**5.8.1.1** Los factores de modificación de duración de carga y humedad, aplicables a los elementos laminados están señalados en las tablas 2.4.1.a y 2.4.1.b.

#### 5.8.1.1 Factor de temperatura

**5.8.1.1.1** Cuando los miembros estructurales experimenten exposición sostenida a temperaturas de hasta 50 °C los valores especificados se deberán modificar por el factor de temperatura,  $K_t$ , definido en la tabla 2.4.1.e.

#### 5.8.1.2 Factor de tratamiento de preservación

**5.8.1.2.1** Cuando la madera esté tratada a presión con sustancias químicas, se utilizarán los factores de tratamiento  $K_f$  de la tabla 2.4.1.f.

#### 5.8.1.3 Factor de estabilidad lateral de vigas, $\phi$

**5.8.1.3.1** Los factores de estabilidad lateral de vigas con elementos laminados se presentan en 3.2.3.

#### 5.8.1.4 Factor de volumen

$$K_v = \left(\frac{6.4}{L}\right)^{\frac{1}{x}} \left(\frac{305}{d}\right)^{\frac{1}{x}} \left(\frac{130}{b}\right)^{\frac{1}{x}} \quad (5.8.1.4)$$

donde:

- $L$  = longitud del miembro laminado en flexión entre puntos de cero momentos, m
- $b$  = grosor del miembro laminado en flexión, mm
- $d$  = ancho del miembro laminado en flexión, mm
- $x$  = 10 para especies coníferas
- $x$  = 20 para especies latifoliadas.

#### 5.8.1.5 Factor de uso plano

**5.8.1.5.1** Cuando los elementos de madera laminada encolada se cargan en flexión alrededor del eje y-y y la dimensión del miembro paralela a la cara ancha de las láminas,  $d_y$  (ver Fig. 5.8.1.5.1), es menor que 305 mm, el valor modificado de esfuerzo en flexión,  $f_{fu}$ , podrá ser multiplicado por el factor de uso plano,  $K_{fu}$ , calculado por la siguiente ecuación:

$$K_{fu} = \left(\frac{305}{d}\right)^{\frac{1}{9}} \quad (5.8.1.5.1)$$

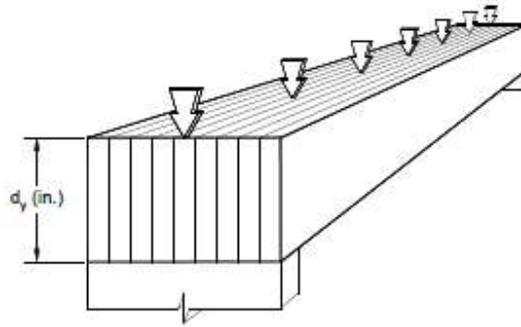


Figura 5.8.1.5.1 Peralte,  $d_y$ , para factor de uso plano

### 5.8.1.6 Factor de curvatura

5.8.1.6.1 Para la porción curva de miembros en flexión, los valores especificados deberán ser multiplicados por el factor de curvatura,  $K_x$ :

$$K_x = 1 - 2000 \left( \frac{t}{R} \right)^2 \quad (5.8.1.6.1)$$

en la cual, la razón  $t/R$  no debe exceder 1/125 para coníferas y 1/100 para angiospermas.

donde:

- $t$  = grosor de la lámina
- $R$  = radio de curvatura de la lámina más interna.

5.8.1.6.2 El factor de curvatura,  $K_x$ , no se debe aplicar al valor especificado de la porción recta de un miembro.

### 5.8.1.7 Factor de interacción de esfuerzos

5.8.1.7.1 Para la porción ahusada de miembros en flexión ahusados en la cara de compresión, el valor modificado de esfuerzo en flexión,  $f_{fu}$ , será multiplicado por el siguiente factor de interacción de esfuerzos:

$$K_I = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{f_f \tan \theta}{f_f K_{vr}} \right)^2 + \left( \frac{f_f \tan^2 \theta}{f_n} \right)^2}} \quad (5.8.1.7.1)$$

donde:

$\theta$  = ángulo de ahusamiento, grados.

5.8.1.7.2 Para miembros ahusados en la cara de tensión, el factor de interacción de esfuerzos,  $K_I$ , no será aplicado simultáneamente con el factor de volumen,  $K_V$ , por lo tanto, aplicará el menor de los dos factores.

5.8.1.7.3 No se recomienda hacer cortes para disminuir el tamaño de la sección en la cara de tensión de elementos estructurales laminados.

### 5.8.2 Factor de reducción de cortante

**5.8.2.1** Los valores modificados para diseño por cortante,  $f_{vu}$  y  $f_{vy}$ , se multiplicarán por el factor de reducción por cortante,  $K_{vr} = 0.72$ , cuando aplique cualquiera de las siguientes condiciones:

- 1) Diseño de miembros no prismáticos
- 2) Diseño de miembros sujetos a impacto o cargas cíclicas repetitivas
- 3) Diseño de miembros con recortes (3.2.4.3)
- 4) Diseño de miembros en uniones

### 5.8.3 Factor de estabilidad de columnas, $K_e$

**5.8.3.1** El factor de estabilidad de columnas,  $K_e$ , se calcula con la expresión 3.3.2.1.b.

### 5.8.4 Factor de área de aplastamiento, $K_a$

**5.8.4.1** Se debe usar el factor  $K_a$  incluido en la tabla 2.4.1.d.

### 5.8.5 Tratamiento de preservación a presión

**5.8.5.1** Los valores modificados de esfuerzos aplican a miembros laminados sometidos a tratamientos de preservación con preservadores para madera solubles en agua o en aceite especificados en las normas NMX-C-178-ONNCCE (2014) y NMX-C-322-ONNCCE (2014).

## 5.9 Consideraciones especiales de diseño

### 5.9.1 Miembros curvos de sección rectangular constante

Los miembros curvos en flexión con sección transversal rectangular constante serán diseñados por resistencia a flexión de acuerdo con lo estipulado en 3.2.2. Los miembros curvos en flexión con sección transversal rectangular constante serán diseñados por resistencia a cortante de acuerdo con lo estipulado en 3.2.4, excepto que las disposiciones de 3.2.4.3 no aplicarán. El factor de reducción por cortante de 5.8.8 sí aplicará. El esfuerzo radial inducido por la flexión en un miembro curvo de sección transversal constante estará limitado por el esfuerzo unitario radial de las cláusulas 5.9.1.1 o 5.9.1.2 cuando se calcule por la expresión:

$$f_{ru} = \frac{3M}{2Rbd} \quad (5.9.1.3)$$

donde:

- $f_{ru}$  = esfuerzo último en tensión radial perpendicular a la fibra
- $M$  = momento flexionante último
- $R$  = radio de curvatura de la línea centroidal del miembro
- $b$  = ancho de la sección transversal
- $d$  = peralte de la sección transversal

#### 5.9.1.1 Tensión radial

**5.9.1.1.1** Cuando el momento flexionante tiende a disminuir la curvatura (incrementar el radio), el esfuerzo radial es en tensión perpendicular a la fibra. Este esfuerzo no excederá el valor especificado en tensión perpendicular a la fibra,  $f_{tu}'$  de la tabla 2.2.3.a, multiplicado por los factores de ajuste correspondientes más el factor de tamaño,  $K_s$ , de la tabla 5.9.1.1.1, a menos que se use refuerzo mecánico suficiente para resistir todos los esfuerzos radiales. En ningún caso el esfuerzo radial,  $f_{ru}$ , excederá de  $(1/3)f_{vu}$ .

**Tabla 5.9.1.1.1 - Factor de tamaño,  $K_s$**

Tipo de miembro	Carga uniformemente distribuida	Todas las otras cargas
Curvo con $d$ constante $d/R > 0$	$\frac{46.9}{(dbR\psi)^{0.2}}$	$\frac{38.4}{(dbR\psi)^{0.2}}$
Doble ahusamiento, curvo $d_a/R > 0$	$\frac{67.8}{(bd_aR\psi)^{0.2}}$	$\frac{42.7}{(bd_aR\psi)^{0.2}}$
Doble ahusamiento $d_a/R = 0$ (miembros planos)	$\frac{36.5}{(bd_a^2)^{0.2}}$	$\frac{23.0}{(bd_a^2)^{0.2}}$

donde:

- $b$  = ancho de la sección transversal, mm
- $R$  = radio de curvatura de la línea centroidal del miembro
- $\psi$  = ángulo contenido entre el centro del claro y el punto tangente, grados
- $d_a$  = peralte de la sección transversal en el ápice, mm.

**5.9.1.2 Compresión radial**

**5.9.1.2.1** Cuando el momento flexionante es en la dirección radial que tiende a incrementar la curvatura (disminuye el radio), el esfuerzo radial es en compresión perpendicular a la fibra. Este esfuerzo estará limitado al valor especificado en compresión perpendicular a la fibra,  $f_{nu}$ , modificado por los factores de ajuste correspondientes.

**5.9.2 Miembros en flexión curvos con doble ahusamiento**

**5.9.2.1** El esfuerzo radial inducido por la flexión en un miembro doblemente ahusado, de sección transversal rectangular (ver fig. 5.9.2.1), es máximo cerca de la parte media del peralte del ápice y será calculado con cualquiera de las dos fórmulas siguientes:

$$f_{ru} = K_r \left( \frac{6M_a}{bd_a^2} \right) \tag{5.9.2.1.a}$$

$$f_{ru} = \frac{3M_a}{2Rbd_a} \tag{5.9.2.1.b}$$

donde

- $f_{ru}$  = esfuerzo último en tensión radial perpendicular a la fibra
- $K_r$  = factor empírico de forma, adimensional  
=  $1 + 2.7 \tan \Phi_T$
- $\Phi_T$  = ángulo de la pendiente del techo, grados
- $M_a$  = momento flexionante en el ápice
- $R$  = radio de curvatura a la mitad de la sección transversal del miembro en el ápice
- $b$  = ancho de la sección transversal
- $d_a$  = peralte de la sección transversal en el ápice.

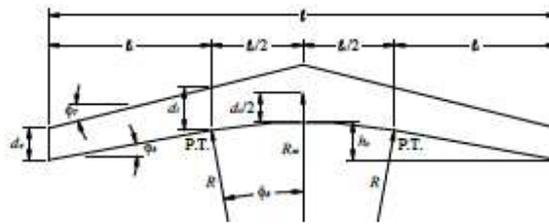


Figura 5.9.2.1 Miembro laminado doblemente ahusado

5.9.2.2 El esfuerzo radial,  $f_{ru}$ , calculado según 5.9.2.1, no excederá el valor especificado para tensión perpendicular a la fibra,  $f_{mu}$ , especificado en la tabla 2.2.3.a, multiplicado por el factor de tamaño apropiado de la tabla 5.9.1.1.1.

5.9.2.3 El esfuerzo de flexión en el ápice de un miembro doblemente ahusado, de sección transversal rectangular, es máximo en la cara inferior y será calculado como

$$f_b = (1 - 2.7 \tan \phi_r) \frac{6M_a}{bd_a^2} \tag{5.9.2.3}$$

donde:

$f_b$  = esfuerzo de flexión en el ápice de un miembro doblemente ahusado

$\phi_r$  = pendiente de la superficie superior del miembro en grados, como se muestra en la figura 5.9.2.1.

5.9.2.4 El esfuerzo de flexión en los puntos de tangencia en cada lado del ápice en un miembro doblemente ahusado de sección transversal rectangular se calculará con

$$f_b = \frac{6M_t}{bd_t^2} \tag{5.9.2.4}$$

donde:

$M_t$  = momento de flexión en el punto de tangencia

$d_t$  = peralte del miembro en el punto de tangencia.

*Comentario:*

*El punto de tangencia puede ser calculado con métodos descritos en la referencia: Manual de diseño de estructuras de madera de Canadá (2020), en la sección sobre miembros en flexión curvos ahusados, "Pitched Tapered Beams".*

5.9.2.5 La deflexión de miembros curvos doblemente ahusados se determinará de acuerdo con lo especificado en la sección 10, excepto que se permitirá que la deflexión de una viga curva simétrica doblemente ahusada sujeta a cargas uniformes se calcule con la expresión empírica

### 5.9.3 Vigas laminadas verticalmente

5.9.3.1 Los valores especificados para las vigas hechas con laminaciones verticales se calcularán como sistemas de carga compartida para madera maciza.

### 5.9.4 Diseño de arcos

5.9.4.1 Las limitaciones para el diseño de arcos son las siguientes:

- a) El radio de curvatura mínimo, el cual afecta el grosor de las laminaciones requeridas se tomará en cuenta con el factor de curvatura  $K_x$ , definido en 5.8.1.6.
- b) Las restricciones de transportación que pueden limitar la longitud general y la altura de los miembros curvos. La altura total de embarque no debe exceder de 4 m. Arreglos especiales para miembros con mayor peralte deben consultarse con el fabricante y las autoridades de tránsito correspondientes.

#### **5.9.4.1** *Consideraciones de diseño*

**5.9.4.2.1** Los arcos laminados, generalmente, se diseñan como arcos de tres articulaciones y cada mitad de arco se fabrica como una unidad individual, continua. Algunos arcos circulares y segmentos cortos de arco con tensores pueden diseñarse como miembros de dos articulaciones. Los arcos circulares largos requerirán de placas de transmisión de momento a colocarse en el sitio de la obra.

**5.9.4.2.2** Los arcos se diseñarán conforme a los conceptos de esfuerzos combinados de flexión y compresión de 3.3.2.

**5.9.4.2.3** Los esfuerzos radiales inducidos en miembros curvos deberán tomar en consideración los criterios indicados en 5.8.1.6.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

## 6. RESISTENCIA DE DISEÑO DE MIEMBROS DE BAMBÚ

### 6.1 Consideraciones generales

6.1.1 Se aplican las ecuaciones y factores de modificación para el diseño de miembros de madera maciza (Capítulo 3) con excepción de las establecidas específicamente en este capítulo.

### 6.2 Miembros en tensión

6.2.1 En miembros de bambú no se permiten recortes adicionales a las perforaciones para pernos de conexión.

### 6.3 Miembros bajo cargas transversales

#### 6.3.1 Recortes

6.3.1.1 En vigas de bambú no se permiten recortes como los utilizados en vigas rectangulares de madera.

#### 6.3.2 Resistencia a flexión

6.3.2.1 La resistencia de diseño,  $M_R$ , de miembros sujetos a flexión se obtiene por medio de la expresión

$$M_R = F_R f_{fu} S \quad (6.3.2.1)$$

donde:

$$f_{fu} = f_{fu}' K_h K_d K_c K_g \quad (2.4 \text{ y } 2.4.1)$$

$$K_g = 0.8 \text{ para elementos con una grieta mayor o igual al } 7.5 \% \text{ de la longitud total del culmo}$$

$$S = \frac{\pi(D_e^4 - D_i^4)}{32D_e}, \text{ módulo de sección de la sección circular hueca}$$

$$F_R = \text{se tomará igual a } 0.8 \text{ (tabla 2.3.1).}$$

#### 6.3.3 Estabilidad lateral

##### 6.3.3.1 Requisitos generales

6.3.2.1.1 Para vigas formadas por varios tallos de bambú no se pueden considerar como secciones compuestas porque hasta el momento no hay conexiones que transmitan con eficiencia esfuerzos cortantes horizontales debidos a la flexión, por lo tanto, el armado no necesariamente se puede hacer con culmos apilados verticalmente.

#### 6.3.4 Resistencia a cortante

##### 6.3.4.1 Resistencia a cortante de diseño

6.3.4.1.1 La resistencia a cortante de diseño,  $V_R$ , en las secciones críticas de vigas se obtiene por medio de la expresión

$$V_R = \frac{F_R \pi f_{vu} (D_e^4 - D_i^4)}{4 (D_e + D_i)^2}$$

donde:

$$D_e = \text{diámetro exterior del culmo}$$

$$D_i = \text{diámetro interior del culmo}$$

$$f_{vu} = f_{vu}' K_h K_d K_c \quad (2.4 \text{ y } 2.4.1)$$

$$F_R = \text{se toma igual a } 0.7 \text{ (tabla 2.3.1).}$$

## **6.4 Miembros sujetos a combinaciones de momento y carga axial de compresión**

### **6.4.1 Requisito general**

**6.4.1.1** Los miembros de bambú sujetos a compresión uniaxial deben satisfacer los requerimientos de la sección 3.3.1.

## **6.5 Compresión o aplastamiento actuando en un ángulo $\theta$ respecto al eje del culmo diferente a $0^\circ$**

**6.5.1** Cuando los miembros de bambú sean sometidos a cargas de compresión perpendiculares al culmo no hay método de diseño y se requiere que se garantice la resistencia mayor a la sollicitación rellenado el culmo con mortero o cualquier otro material con resistencia en compresión mayor a la del mortero.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

## 7. RESISTENCIA DE DISEÑO DE PILOTES DE MADERA REDONDOS

### 7.1 Consideraciones generales

7.1 Este capítulo aplica al diseño estructural de pilotes; el cálculo de la capacidad de soporte del suelo o roca no se trata aquí.

### 7.2 Materiales

7.2.1 Los datos y requerimientos de diseño especificados aquí aplican únicamente a pilotes de madera de pino que conforman con los requerimientos de la clasificación para postes de madera de la especificación J6200-01 Postes de Madera (2018) de la Comisión Federal de Electricidad, inciso 6.2 Clasificación de defectos.

#### 7.2.1 Dimensiones de los postes de madera de pino

7.2.1.1 Las dimensiones, clases, cargas de ruptura y circunferencia mínima en la base y punta de los postes de madera de pino se presentan en la Tabla 7.2.1.1.

**Tabla 7.2.1.1 Dimensiones de postes de pino (ANSI 05.1)**

Clase		1	2	3	4	5	6	7
Carga de ruptura (N)		20 020	16 500	13 300	10 680	8 450	6 670	5 430
Carga de ruptura (kg)		2 042	1 683	1 356	1 089	862	680	554
Circunferencia mínima en la parte superior (m)		0.69	0.64	0.58	0.53	0.48	0.43	0.38
Longitud (m)	Distancia aproximada del suelo desde el extremo (m)	Circunferencia mínima a 1.8 m del extremo (m)						
6.10	1.22	0.83	0.77	0.72	0.67	0.62	0.57	0.53
7.60	1.52	0.91	0.85	0.79	0.74	0.69	0.64	0.58
9.15	1.67	0.99	0.93	0.86	0.80	0.74	0.69	0.64
10.65	1.83	1.05	0.98	0.91	0.85	0.79	0.72	0.67
12.20	1.83	1.12	1.04	0.97	0.90	0.84	0.77	—
13.70	2.00	1.17	1.09	1.02	0.94	0.88	0.81	—
15.20	2.13	1.22	1.14	1.07	0.99	0.91	—	—
16.75	2.28	1.26	1.18	1.10	1.03	—	—	—
18.25	2.43	1.31	1.22	1.14	1.07	—	—	—
19.80	2.59	1.35	1.26	1.17	1.09	—	—	—
21.30	2.74	1.38	1.30	1.21	1.13	—	—	—
22.85	2.90	1.42	1.33	1.24	—	—	—	—
24.40	3.05	1.46	1.37	1.28	—	—	—	—
25.90	3.20	1.49	1.40	1.31	—	—	—	—
27.40	3.40	1.52	1.44	1.33	—	—	—	—

### 7.3 Clasificación por carga de ruptura

7.3.1 Los postes de madera se clasifican de acuerdo con su carga de ruptura a la flexión que como mínimo deben soportar (Tabla 7.3.1):

**Tabla 7.3.1 - Clasificación de postes de madera, según su carga de ruptura (ANSI 05.1)**

Clase	Carga horizontal	
	N	kg
1	20 020	2 042
2	16 500	1 683
3	13 300	1 356
4	10 680	1 089
5	8 450	862
6	6 670	680
7	5 430	554

## 7.4 Tratamientos de preservación

7.4.1 Los datos y requerimientos de diseño especificados en este capítulo se basan en el uso de pilotes tratados a presión, sometidos a tratamientos de preservación con preservadores para madera solubles en agua o en aceite especificados en las normas NMX-C-178-ONNCCE-2014 y NMX-C-322-ONNCCE-2014.

## 7.5 Pilotes usados en obras provisionales

7.5.1 Los datos y requerimientos de diseño especificados en este capítulo también pueden aplicarse a pilotes no tratados usados para obras provisionales o construcciones temporales, cuando se pueda garantizar que las condiciones del suelo no conducirán al deterioro de los pilotes durante el proceso de construcción.

## 7.6 Diseño de pilotes

7.6.1 Los pilotes de madera deberán ser diseñados para transmitir todas las cargas aplicadas al suelo o roca de soporte, y pueden ser diseñados como pilotes de punta o de fricción.

## 7.7 Diseño de columnas

### 7.7.1 Pilotes de punta

7.7.1.1 Un pilote de punta puede considerarse que actúa como una columna y pueden utilizarse las fórmulas simples del cálculo de esfuerzos de compresión uniaxial. En pilotes de sección transversal variable, se utilizará para el cálculo la sección transversal mínima. Donde sea necesario, deberán ser diseñados para resistir esfuerzos de tensión, debido a empujes hidrostáticos verticales (sub-presión).

### 7.7.2 Pilotes de fricción

7.7.2.1 Para un pilote de fricción, la carga última será aplicada al área de la sección transversal de un punto ubicado a 1/3 de la longitud de la parte embebida del pilote, a partir de la punta.

## 7.8 Porción no embebida

7.8.1 La porción de los pilotes que esté en contacto con aire, agua o suelos que no provean soporte lateral adecuado deberán ser considerados como no soportados lateralmente y diseñados como un miembro ahusado, definido en 3.3.3.

## 7.9 Valores especificados para pilotes de madera

7.9.1 Los valores de esfuerzo especificados para pilotes de madera de sección circular bajo duración normal de carga no excederán los valores dados en la tabla 7.9.1 y se modificarán conforme a 2.4.1.

**Tabla 7.9.1 - Valores especificados en flexión y módulos de elasticidad para postes de madera<sup>[1,2]</sup>**

Valores		(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
Flexión	$f'_{fu}$	17.5	180
Tensión paralela a la fibra	$f'_{tu}$	11.8	120
Compresión paralela a la fibra	$f'_{cu}$	12.3	125
Compresión perpendicular a la fibra	$f'_{nu}$	3.9	40
Cortante paralelo a la fibra	$f'_{vu}$	1.5	15
Módulo de elasticidad promedio <sup>[3]</sup>	$E_{0.50}$	9860	100500
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil <sup>[3]</sup>	$E_{0.05}$	6615	67500

<sup>[1]</sup> Los valores especificados y módulos de elasticidad de la Tabla 7.9.1 aplican solamente a postes y pilotes de madera que cumplan con esta norma. Los efectos del acondicionamiento sobre los valores especificados y

---

módulos de elasticidad han sido tomados en cuenta en la Tabla 7.9.1 siempre que el acondicionamiento haya sido llevado a cabo dentro de los límites prescritos en esta especificación

- <sup>[2]</sup> Los valores especificados representan los valores de resistencia de la fibra al nivel de la línea de tierra, con un coeficiente de variación representativo de 0.20
- <sup>[3]</sup> Los valores del módulo de elasticidad corresponden al valor medio,  $E_{0.50}$  al del 5° percentil,  $E_{0.05}$  de la distribución de probabilidades de  $E$ .

Espacio en blanco dejado de manera intencional

## 8. DISEÑO ESTRUCTURAL DE POSTES

### 8.1 Consideraciones generales

8.1.1 Este capítulo aplica al diseño estructural de estructuras con postes; el cálculo de la capacidad de carga del suelo no se trata aquí.

### 8.2 Materiales

8.2.1 Los datos y requerimientos de diseño especificados aquí aplican únicamente a pilotes de madera de pino que conforman con los requerimientos de la clasificación para postes de madera de la especificación J6200-01 Postes de Madera (2018) de la Comisión Federal de Electricidad, inciso 6.2 Clasificación de defectos.

#### 8.2.1 Dimensiones de los postes de madera de pino

8.2.2.1 Las dimensiones, clases, cargas de ruptura y circunferencia mínima en la base y punta de los postes de madera de pino se presentan en la Tabla 7.2.1.1.

### 8.3 Tratamientos de preservación

8.3.1 El diseño de postes que están en contacto con el suelo, expuestos a humedad, ventilación inadecuada, contacto con mampostería o concreto o que estén expuestos a cualquier condición que favorezca el biodeterioro, deberán ser tratados a presión, conforme a la norma NMX-C-322-ONNCCE-2014.

### 8.4 Diseño de postes

El diseño estructural de postes deberá estar de acuerdo con las especificaciones de esta norma. El diseño de los conectores deberá estar de acuerdo con criterios de ingeniería aceptables. Los criterios de verificación de la resistencia se basarán en la demostración experimental.

El diseño de postes deberá permitir la transmisión al suelo de todas las cargas aplicadas y deberán ser adecuados para las condiciones de suelo del sitio de la obra.

#### 8.4.1 Diseño a flexocompresión

8.4.1.1 Los postes redondos se diseñarán como miembros ahusados, según se especifica en 3.3.3. Los postes deberán ser diseñados como miembros sujetos a acciones combinadas de carga axial y momento flexionante, conforme a 3.3.5.

#### 8.4.2 Porción embebida

8.4.2.1 La porción del poste embebida en la tierra puede ser considerada como una columna sujeta a carga axial únicamente. Los apoyos de la cimentación deberán ser de forma cuadrada. El proyectista deberá revisar las condiciones mecánicas del suelo para verificar que cumpla con todos los requisitos de resistencia y rigidez del sitio.

#### 8.4.3 Valores especificados para postes de madera

8.4.3.1 Los valores de esfuerzo especificados para postes de madera de sección circular bajo duración normal de carga no excederán los valores dados en la tabla 7.9.1 y se modificarán conforme a 2.4.

## 9. DEFLEXIONES

### 9.1 Cálculo de deflexiones

9.1.1 Las deflexiones calculadas tomando en cuenta los efectos a largo plazo no deberán exceder de los siguientes límites:

- a) Para claros menores a 3.5 m, una flecha vertical igual al claro entre 240 o el claro entre 480 cuando se afecten elementos no estructurales
- b) Para claros mayores a 3.5 m, una flecha vertical igual al claro entre  $240 + 5$  mm o el claro entre  $480 + 3$  mm cuando se afecten elementos no estructurales.

9.1.2 Las deflexiones de elementos tanto de madera maciza como de madera contrachapada deberán calcularse bajo las cargas de diseño, considerando un factor de carga igual a la unidad. Como módulo de elasticidad se tomará el valor promedio,  $E_{0.50}$ . Los efectos diferidos se calcularán multiplicando la deflexión inmediata debida a la parte de la carga que actúe en forma continua por 1.75, si la madera se instala en condición seca ( $CH \leq 18$  por ciento) y por 2.0, si se instala en condición húmeda ( $CH > 18$  por ciento).

### 9.2 Madera maciza

9.2.1 Las deflexiones inmediatas de vigas se calcularán utilizando las fórmulas usuales de mecánica de sólidos basadas en la hipótesis de un comportamiento elástico.

### 9.3 Madera contrachapada

9.3.1 Las deflexiones de las placas de madera contrachapada sometidas a cargas transversales a su plano, o de las vigas con alma de madera contrachapada y patines de madera maciza, deberán calcularse utilizando las fórmulas apropiadas basadas en la hipótesis de un comportamiento elástico. El módulo de elasticidad presentado en la tabla 2.2.1.e puede ser usado para todas las calidades de madera contrachapada de pino que cumplan con los requisitos de la sección 4.1. El mismo valor es aplicable independientemente de la dirección de la fibra en las chapas exteriores.

9.3.2 Para las vigas con alma de madera contrachapada, la deflexión total calculada deberá ser igual a la suma de las deflexiones debidas a momentos y debidas a cortante. Cuando se calcule la deflexión por cortante en forma separada de la deflexión por flexión el valor del módulo de elasticidad podrá incrementarse en 10 por ciento.

9.3.3 En los cálculos deberán utilizarse los valores de las propiedades efectivas de las placas. Estos valores se calcularán considerando que únicamente contribuyen a resistir las cargas las chapas con la dirección de la fibra paralela al esfuerzo principal. Los valores de las propiedades efectivas (grosor, área, módulo de sección, momento de inercia y primer momento de área) de las placas de madera contrachapada para una combinación adecuada de chapas se presentan en el Apéndice A.

9.3.4 Cuando se use cualquier otro tipo de placa, deberán calcularse los valores reales de las propiedades de la sección sin incluir las chapas con la dirección de la fibra perpendicular al esfuerzo principal, y multiplicarse estos valores por los factores  $C$  indicados en la tabla A.1 del Apéndice A para obtener los valores efectivos de la sección transversal.

9.3.5 Los efectos diferidos se tomarán en cuenta de la misma forma que para miembros de madera maciza.

### 9.4 Madera laminada

9.4.1 El módulo de elasticidad  $E_x$ , se usará para la determinación de las deflexiones debidas a flexión con respecto al eje  $x$ .

9.4.2 El módulo de elasticidad  $E_y$ , se usará para la determinación de las deflexiones debidas a flexión con respecto al eje  $y$ .

## 10. ELEMENTOS DE UNIÓN

### 10.1 Consideraciones generales

#### 10.1.1 Alcance

10.1.1.1 Este capítulo proporciona procedimientos para dimensionar uniones con clavos, pernos, pijas y tableros dentadas o perforadas.

#### 10.1.2 Resistencia a cortante

10.1.2.1 Cuando un elemento de unión o un grupo de elementos de unión produzca fuerza cortante en un miembro, la resistencia a cortante de diseño determinada de acuerdo con 3.2.4, se calculará con base en la dimensión  $d_e$  en lugar de  $d$ . La dimensión  $d_e$  se define como la distancia, medida perpendicularmente al eje del miembro, desde el extremo del elemento de unión o grupo de elementos de unión hasta el borde cargado del miembro.

### 10.2 Clavos

#### 10.2.1 Alcance

10.2.1.1 Los valores de resistencia dados en esta sección son aplicables únicamente a clavos de caña lisa que se ajusten a la norma NMX-B-505-CANACERO2011.

10.2.1.2 Los valores para clavos de otras características deberán ser aprobados por la Administración.

#### 10.2.2 Configuración de las uniones

10.2.2.1 Las uniones clavadas deberán tener como mínimo dos clavos.

10.2.2.2 Los espaciamientos entre clavos serán tales que se evite que la madera forme grietas entre dos clavos próximos, entre sí, o de cualquiera de los clavos a los bordes o extremos de la unión.

10.2.2.3 La longitud de penetración en el miembro principal deberá ser igual a por lo menos la mitad de la longitud del clavo.

10.2.2.4 El grosor de la pieza lateral,  $t_l$ , deberá ser igual a por lo menos un sexto de la longitud del clavo, reduciendo la resistencia de la unión de acuerdo con el factor  $J_{gc}$ .

#### 10.2.3 Dimensionamiento de uniones clavadas con madera maciza

10.2.3.1 La resistencia lateral de diseño de clavos hincados perpendicularmente a la fibra deberá calcularse de acuerdo con 10.2.3.1.

10.2.3.2 La resistencia a la extracción de clavos se considerará nula en todos los casos, exceptuando lo indicado en 10.2.3.2.

##### 10.2.3.1 Resistencia lateral

10.2.3.1.1 La resistencia lateral de diseño de una unión clavada,  $N_m$ , deberá ser mayor que o igual a la carga actuante de diseño, y se obtendrá por medio de la expresión

$$N_m = F_R N_u n \quad (10.2.3.1.1)$$

donde:

$$N_u = N_u' J_h J_d J_{gc} J_a J_{dp} J_p J_{di} \quad (2.4.2)$$

$N_u'$  = valor especificado de resistencia por clavo, se calcula utilizando las ecuaciones:

$N_u' = 50.53 D^{2.01}$ , para coníferas de origen nacional y extranjero (especies definidas en Tablas 2.2.2 c y 2.2.1.d)

$N_u' = 88.07 D^{1.97}$ , para Grupo I de latifoliadas

$N_u' = 80.16 D^{1.96}$ , para Grupo II de latifoliadas

$N_u' = 81.97 D^{1.82}$ , para Grupo III de latifoliadas

$N_u' = 53.94 D^{1.83}$ , para Grupo IV de latifoliadas.

$D$  = diámetro real del clavo, mm

$n$  = número de clavos

$F_R$  = se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

### 10.2.3.2 Resistencia a extracción de clavos lanceros

10.2.3.2.1 La resistencia a la extracción de clavos lanceros,  $T_r$ , se calculará con la expresión

$$T_r = 0.10 N_{ru} \quad (10.2.3.2.1)$$

donde:

$N_{ru}$  deberá ser calculada de acuerdo con 10.2.4.

### 10.2.4 Dimensionamiento de uniones clavadas con madera contrachapada

10.2.4.1 La resistencia de diseño bajo cargas laterales de una unión clavada con piezas laterales de madera contrachapada,  $N_{ru}$ , deberá calcularse de acuerdo con lo indicado en 10.2.3.1 utilizando el valor de  $N_u'$  especificado en la tabla 10.2.4.1.

**Tabla 10.2.4.1 - Resistencia lateral especificada para uniones con piezas laterales de madera contrachapada,  $N_u'$**

	Grosor del contrachapado		Longitud del clavo, l		$N_u'$ N (kg)
	mm		mm	plg	
a)	Clavo de alambre estilo delgado (comunes)				
	9		51	2	392 (40)
	13, 16		64	2.5	491 (50)
	19, 21		76	3	589 (60)
b)	Clavo de alambre estilo grueso (americano)				
	9		51	2	441 (45)
	13, 16		64	2.5	540 (55)
	19, 21		76	3	638 (65)

### 10.3 Pernos y pijas

#### 10.3.1 Requisitos comunes

##### 10.3.1.1 Contacto entre las piezas unidas

10.3.1.1.1 Las uniones con pernos y pijas deberán realizarse de manera que exista contacto efectivo entre las piezas unidas. Si el contenido de humedad es superior a 18 por ciento, al efectuarse el montaje de la estructura en cuestión deberán hacerse inspecciones a intervalos no superiores a seis meses hasta verificar que los movimientos por contracciones han dejado de ser significativos. En cada inspección deberán apretarse los elementos de unión hasta lograr un contacto efectivo entre las caras de las piezas unidas.

**10.3.1.2 Agujeros**

**10.3.1.2.1** Los agujeros deberán localizarse con precisión. Cuando se utilicen piezas metálicas de unión, los agujeros deberán localizarse de manera que queden correctamente alineados con los agujeros correspondientes en las piezas de madera.

**10.3.1.3 Grupos de elementos de unión**

**10.3.1.3.1** Un grupo de elementos de unión está constituido por una o más hileras de elementos de unión del mismo tipo y tamaño, dispuestas simétricamente con respecto al eje de la carga.

**10.3.1.3.2** Una hilera de elementos de unión está constituida por:

- Uno o más pernos del mismo diámetro, bajo cortante simple o múltiple, colocados paralelamente a la dirección de la carga
- Una o más pijas de las mismas características, bajo cortante simple, colocadas paralelamente a la dirección de la carga.

**10.3.1.3.3** Cuando los elementos de unión se coloquen en tresbolillo y la separación entre hileras adyacentes sea menor que la cuarta parte de la distancia entre los elementos más próximos de hileras adyacentes, medida paralelamente a las hileras, las hileras adyacentes se considerarán como una sola hilera en relación con la determinación de la resistencia del grupo. Para grupos con un número par de hileras, esta regla se aplicará a cada pareja de hileras. Para grupos con un número non de hileras, se aplicará el criterio que resulte más conservador.

**10.3.1.4 Rondanas**

**10.3.1.4.1** Se colocará una rondana entre la cabeza o la tuerca del elemento de unión y la madera, con las características generales dadas en la tabla 10.3.2.1.4.1 Las rondanas podrán omitirse cuando la cabeza o la tuerca del elemento se apoyen directamente sobre una placa de acero. El área de las rondanas de pernos que estén sujetos a tensión deberá ser tal que el esfuerzo de aplastamiento no sea superior a la resistencia de diseño en compresión perpendicular a la fibra de la madera calculada según la sección 3.5. Si se utilizan rondanas de acero, su grosor no deberá ser inferior a 1/10 del diámetro de rondanas circulares, ni inferior a 1/10 de la dimensión mayor de dispositivos de forma rectangular.

**Tabla 10.3.1.4 - Dimensiones mínimas de rondanas para uniones con pernos y pijas**

Tipo de rondana	Uso	Diámetro del perno o pija $D$ , m	Diámetro o lado de la rondana $D_0$ , mm	Grosor $t_0$ , mm
Rondana circular delgada de acero	No utilizable para aplicar cargas a tensión al perno o pija	12.7	35	3
		15.9	45	4
		19.1	50	4
		22.2	60	4
		25.4	65	4
Rondana cuadrada de placa de acero	Utilizable para aplicar cargas de tensión o en uniones soldadas	12.7	65	5
		15.9	70	6
		19.1	75	6
		22.2	85	8
		25.4	90	10
Rondana circular de placa de acero	Para cualquier uso, salvo casos en que cargas de tensión produzca esfuerzos de aplastamiento excesivos en la madera	12.7	65	5
		19.1	70	6
		22.2	85	8
Rondana de hierro fundido con perfil de cimacio	Para casos en que se requiera rigidez	12.7	65	13
		15.9	75	16
		19.1	90	19
		22.2	100	22
		25.4	100	25

### 10.3.2 *Requisitos particulares para pernos*

#### 10.3.2.1 *Consideraciones generales*

**10.3.2.1.1** Los datos de capacidad de pernos de las siguientes secciones son aplicables únicamente si los materiales empleados son aceros de bajo carbono especificados en la norma NMX-H-47-CANACERO (1990).

**10.3.2.1.2** Los valores tabulados de capacidades corresponden a un solo plano de cortante.

**10.3.2.1.3** Los agujeros para alojar los pernos deberán taladrarse de manera que su diámetro no exceda al del perno en más de 2 mm, ni sea menor que el diámetro del perno más 1 mm.

#### 10.3.2.2 *Grosos efectivos de las piezas*

a) Piezas laterales de madera

- 1) En uniones en cortante simple se tomará como grosor efectivo el menor valor del grosor de las piezas
- 2) En uniones en cortante doble se tomará como grosor efectivo el menor valor de dos veces el grosor de la pieza lateral más delgada o el grosor de la pieza central
- 3) La capacidad de uniones de cuatro o más miembros se determinará considerando la unión como una combinación de uniones de dos miembros.

b) Piezas laterales metálicas.

Las piezas laterales metálicas deberán tener un espesor mínimo de 3 mm. Se dimensionarán de manera que sean capaces de resistir las cargas que transmiten.

#### 10.3.2.3 *Espaciamiento entre pernos*

**10.3.2.3.1** En las figuras 10.3.2.3.1.a y 10.3.2.3.1.b se presentan las definiciones de las separaciones especificadas en este capítulo.

a) Espaciamiento entre pernos de una hilera

En hileras de pernos paralelas a la dirección de la carga, los espaciamientos mínimos, medidos desde los centros de los pernos, serán:

- 1) Para cargas paralelas a la fibra, cuatro veces el diámetro de los pernos (Fig. 10.3.3.1.1.a)
- 2) Para cargas perpendiculares a la fibra, el espaciamiento paralelo a la carga entre pernos de una hilera dependerá de los requisitos de espaciamiento de la pieza o piezas unidas, pero no será inferior a tres diámetros (Fig. 10.3.3.1.1.b).

b) Espaciamiento entre hileras de pernos

- 1) Para cargas paralelas a la fibra, el espaciamiento mínimo deberá ser igual a dos veces el diámetro del perno (Fig. 10.3.3.1.1.a)
- 2) Para cargas perpendiculares a la fibra, el espaciamiento deberá ser por lo menos 2.5 veces el diámetro del perno para relaciones entre grosores de los miembros unidos iguales a dos, y cinco veces el diámetro del perno, para relaciones iguales a seis. Para relaciones entre dos y seis puede interpolarse linealmente (Fig. 10.3.3.1.1.b)
- 3) No deberá usarse una pieza de empalme única cuando la separación entre hileras de pernos paralelas a la dirección de la fibra sea superior a 125 mm.

c) Distancia a los extremos

La distancia a los extremos no deberá ser inferior a:

- 1) Siete veces el diámetro del perno para miembros de maderas latifoliadas de los grupos III y IV y de coníferas en tensión (Fig. 10.3.3.1.1.a)
- 2) Cinco veces el diámetro del perno para miembros de maderas latifoliadas de los grupos I y II en tensión (Fig. 10.3.3.1.1.a)
- 3) El valor mayor de cuatro veces el diámetro del perno o 50 mm, para miembros en compresión, y para miembros cargados perpendicularmente a la fibra, de maderas de cualquier grupo (Fig. 10.3.3.1.1.b).

d) Distancia a los bordes

Para miembros cargados perpendicularmente a las fibras, la distancia al borde cargado será igual a por lo menos cuatro veces el diámetro del perno y la distancia al borde no cargado será igual a por lo menos el menor de los valores siguientes: 1.5 veces el diámetro del perno, o la mitad de la distancia entre hileras de pernos (Fig. 10.3.3.1.1.a y 10.3.3.1.1.b).

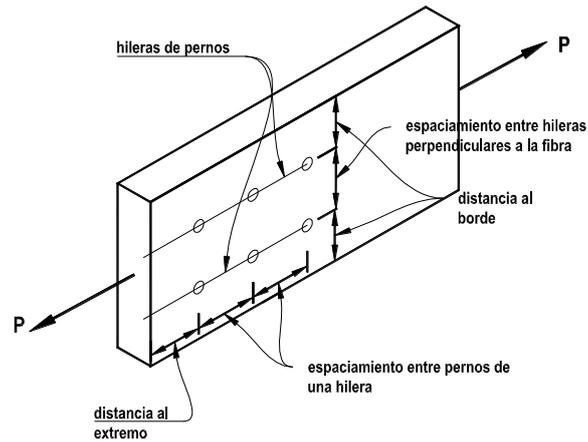


Figura 10.3.2.3.1.a - Descripción de las separaciones de los pernos en uniones con cargas paralelas a la fibra.

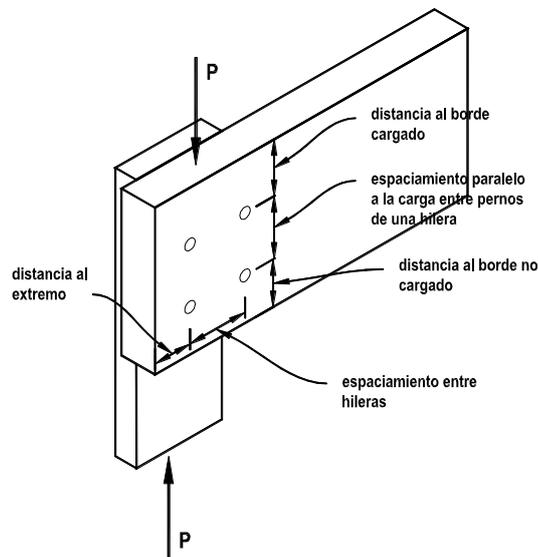


Figura 10.3.2.3.1.b Descripción de las separaciones de los pernos en uniones con cargas perpendiculares a la fibra.

**10.3.3 Resistencia de uniones con pernos**

**10.3.3.1 Resistencia lateral**

**10.3.3.1.1** La resistencia lateral de diseño de una unión con pernos,  $P_{ru}$ ,  $Q_{ru}$  o  $N_{ru}$ , deberá ser mayor o igual a la carga actuante de diseño y se obtendrá por medio de las siguientes expresiones:

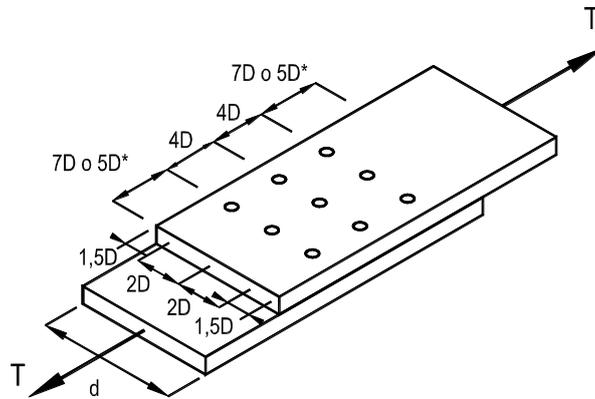


Figura 10.3.3.1.1.a - Espaciamiento entre pernos de uniones con cargas paralelas a la fibra.

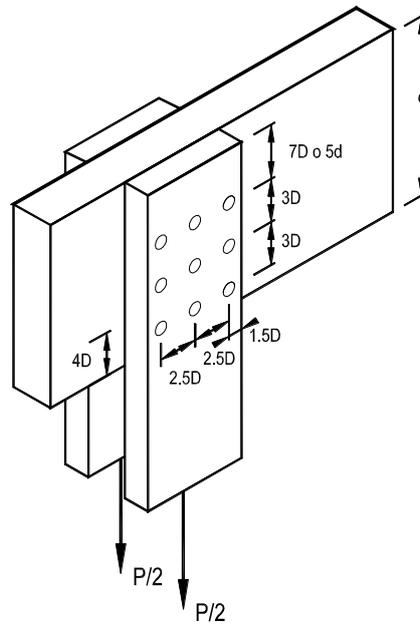


Figura 10.3.3.1.1.b - Espaciamiento entre pernos de uniones con cargas perpendiculares a la fibra.

Para carga paralela a la fibra

$$P_{ru} = F_R n_p P_{pu} n \tag{10.3.3.1.1.a}$$

Para carga perpendicular a la fibra

$$Q_{ru} = F_R n_p Q_{pu} n \tag{10.3.3.1.1.b}$$

Para cargas a un ángulo  $\theta$  con respecto a las fibras

$$N_{ru} = \frac{P_{ru} Q_{ru}}{P_{ru} \sin^2 \theta + Q_{ru} \cos^2 \theta} \quad (10.3.3.1.1.c)$$

donde:

- $n_p$  = número de planos de cortante
- $P_{pu}$  =  $P_{pu} J_h J_g J_d$  (2.4.2)
- $Q_{pu}$  =  $Q_{pu} J_h J_g J_d$  (2.4.2)
- $P_{pu}'$  = resistencia especificada por perno para cargas paralelas a la fibra (tabla 10.3.4.3.1.a)
- $Q_{pu}'$  = resistencia especificada por perno para cargas perpendiculares a la fibra (tabla 10.3.4.3.1.b)
- $n$  = número de pernos en un grupo
- $F_R$  = se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

### 10.3.3.2 Resistencia a cargas laterales y axiales combinadas

**10.3.3.2.1** Las resistencias tabuladas corresponden a cargas que actúan perpendicularmente al eje del perno. Si el perno está sujeto a una componente paralela a su eje, deberá considerarse esta componente en su dimensionamiento. Además, deberán instalarse rondanas pacas de resistir dicha componente.

### 10.3.4 Requisitos particulares para pijas

#### 10.3.4.1 Consideraciones generales

**10.3.4.1.1** Los datos de capacidad de pijas de las siguientes secciones son aplicables únicamente si los materiales empleados son aceros de bajo carbono especificados en la norma NMX-H-122-CANACERO.

**10.3.4.1.2** Los valores tabulados de capacidades corresponden a una sola pija en extracción o en cortante simple.

#### 10.3.4.2 Colocación de las pijas en las uniones

##### a) Taladros para alojar las pijas

Los taladros para alojar las pijas deberán satisfacer los siguientes requisitos:

- 1) El taladro guía para la caña deberá tener el mismo diámetro que la caña y su profundidad deberá ser igual a la longitud del tramo liso de ésta
- 2) El taladro guía para el tramo con rosca deberá tener un diámetro entre 65 y 85 por ciento del diámetro de la caña para maderas latifoliadas del grupo I, a 60 a 75 por ciento del diámetro de la caña para maderas latifoliadas del grupo II, y a 40 a 70 por ciento del diámetro de la caña para maderas de los grupos III y IV y coníferas. En cada grupo los porcentajes mayores se aplicarán a las pijas de mayor diámetro. La longitud del taladro guía será por lo menos igual a la del tramo con rosca.

##### b) Inserción de la pija

El tramo roscado deberá insertarse en su taladro guía haciendo girar a la pija con una llave. Para facilitar la inserción podrá recurrirse a jabón o algún otro lubricante, siempre que éste no sea a base de petróleo.

##### c) Espaciamientos

Los espaciamientos y las distancias a los bordes y los extremos para uniones con pijas deberán ser iguales a los especificados en 10.3.2.3 para pernos con un diámetro igual al diámetro de la caña de la pija en cuestión.

**10.3.4.3 Penetración de las pijas**

**10.3.4.3.1** En la determinación de la longitud de penetración de una pija en un miembro deberá deducirse del tramo roscado la porción correspondiente a la punta.

**Tabla 10.3.4.3.1.a - Valores de  $P_{pu}$  por plano de cortante para cargas paralelas a la fibra con piezas laterales de madera en uniones con pernos, N (kg)**

Diámetro perno mm	Grosor efectivo mm	Coníferas		Latifoliadas							
				Grupo I		Grupo II		Grupo III		Grupo IV	
6,4	38	1432	146	2001	204	1785	182	1177	120	981	100
	64	1815	185	2305	235	2119	216	1462	149	1167	119
	87	1815	185	2305	235	2119	216	1560	159	1344	137
	mayor que 140	1815	185	2305	235	2119	216	1560	159	1344	137
9,5	38	2727	278	3816	389	3463	353	2021	206	1501	153
	64	3306	337	4719	481	4169	425	2688	274	2227	227
	87	3875	395	5072	517	4679	477	3071	313	2472	252
	mayor que 140	3993	407	5072	517	4679	477	3443	351	2972	303
12,7	38	3640	371	5866	598	4993	509	2698	275	2011	205
	64	5366	547	7348	749	6583	671	4483	457	3384	345
	87	5955	607	8518	868	7514	766	4836	493	4002	408
	140	7142	728	9064	924	8358	852	6092	621	4827	492
	mayor que 190	7142	728	9064	924	8358	852	6151	627	5307	541
15,9	38	4562	465	7348	749	6249	637	3384	345	2521	257
	64	7681	783	10713	1092	9702	989	5690	580	4238	432
	87	8603	877	11909	1214	10624	1083	7142	728	5768	588
	140	10595	1080	14205	1448	13096	1335	8417	858	6808	694
	190	11193	1141	14205	1448	13096	1335	9633	982	7917	807
	mayor que 240	11193	1141	14205	1448	13096	1335	9633	982	8319	848
19,1	38	5474	558	8819	899	7505	765	4061	414	3021	308
	64	9221	940	14852	1514	12645	1289	6838	697	5101	520
	87	11880	1211	16020	1633	14431	1471	9300	948	6926	706
	140	13881	1415	20061	2045	17638	1798	11213	1143	9212	939
	190	16147	1646	20493	2089	18904	1927	12959	1321	10359	1056
	240	16147	1646	20493	2089	18904	1927	13901	1417	11782	1201
	mayor que 290	16147	1646	20493	2089	18904	1927	13901	1417	12007	1224
22,2	38	6367	649	10251	1045	8721	889	4719	481	3522	359
	64	10722	1093	17266	1760	14695	1498	7946	810	5925	604
	87	14568	1485	20748	2115	18816	1918	10811	1102	8054	821
	140	17589	1793	24868	2535	22033	2246	14411	1469	11998	1223
	190	20326	2072	27684	2822	25535	2603	16187	1650	13116	1337
	240	21817	2224	27684	2822	25535	2603	18394	1875	14597	1488
	mayor que 290	21817	2224	27684	2822	25535	2603	18786	1915	16216	1653
25,4	38	7279	742	11733	1196	9987	1018	5405	551	5925	604
	64	12263	1250	19757	2014	16814	1714	9094	927	6779	691
	87	16667	1699	26448	2696	22857	2330	12361	1260	9212	939
	140	21994	2242	30499	3109	27193	2772	18237	1859	14823	1511
	190	24790	2527	35914	3661	31569	3218	19993	2038	16393	1671
	240	28214	2876	36248	3695	33432	3408	22288	2272	17893	1824
	mayor que 290	28557	2911	36248	3695	33432	3408	24594	2507	19689	2007

**Tabla 10.3.4.3.1.b - Valores de  $Q_{pu}$  por plano de cortante para cargas perpendiculares a la fibra con piezas laterales de madera o metal en uniones con pernos, N (kg)**

Diámetro perno mm	Grosor efectivo mm	Coníferas		Latifoliadas							
				Grupo I		Grupo II		Grupo III		Grupo IV	
6.4	38	804	82	1226	125	1059	108	579	59	481	49
	64	1226	125	1628	166	1501	153	853	87	706	72
	87	1285	131	1628	166	1501	153	1059	108	952	97
	mayor que 140	1285	131	1628	166	1501	153	1059	108	952	97
9.5	38	1285	131	2021	206	1756	179	873	89	706	72
	64	1942	198	2992	305	2580	263	1393	142	1177	120
	87	2502	255	3581	365	3306	337	1756	179	1452	148
	mayor que 140	2825	288	3581	365	3306	337	2335	238	2099	214
12.7	38	1717	175	2757	281	2345	239	1167	119	952	97
	64	2835	289	4238	432	3689	376	1962	200	1599	163
	87	3522	359	5415	552	4670	476	2521	257	2119	216
	140	5052	515	6406	653	5906	602	3659	373	3021	308
	mayor que 190	5052	515	6406	653	5906	602	4169	425	3757	383
15.9	38	2148	219	3453	352	2943	300	1462	149	1187	121
	64	3610	368	5690	580	4954	505	2462	251	2001	204
	87	4689	478	7073	721	6131	625	3345	341	2717	277
	140	6759	689	10045	1024	9084	926	4768	486	3963	404
	190	7917	807	10045	1024	9261	944	6151	627	5062	516
	mayor que 240	7917	807	10045	1024	9261	944	6533	666	5062	516
19.1	38	2580	263	4150	423	3532	360	1756	179	1422	145
	64	4336	442	6995	713	5945	606	2953	301	2403	245
	87	5896	601	8917	909	7779	793	4012	409	3267	333
	140	8682	885	12988	1324	11183	1140	5984	610	5013	511
	190	10850	1106	14489	1477	13371	1363	7593	774	6278	640
	240	11419	1164	14489	1477	13371	1363	9280	946	7632	778
	mayor que 290	11419	1164	14489	1477	13371	1363	9418	960	8486	865
22.2	38	2992	305	4827	492	4110	419	2040	208	1658	169
	64	5042	514	8123	828	6916	705	3434	350	2796	285
	87	6857	699	10899	1111	9398	958	4670	476	3796	387
	140	10094	1029	15451	1575	13342	1360	7289	743	6102	622
	190	12871	1312	19581	1996	17266	1760	9084	926	7554	770
	240	15421	1572	19581	1996	18060	1841	10997	1121	9074	925
	mayor que 290	15421	1572	19581	1996	18060	1841	12724	1297	10663	1087
25.4	38	3424	349	5523	563	4699	479	2335	238	1893	193
	64	5768	588	9300	948	7907	806	3934	401	3198	326
	87	7848	800	12635	1288	10752	1096	5337	544	4346	443
	140	12017	1225	18149	1850	15745	1605	8594	876	6985	712
	190	15078	1537	23377	2383	20111	2050	10732	1094	8986	916
	240	18335	1869	25624	2612	23642	2410	12861	1311	10663	1087
	mayor que 290	20189	2058	25624	2612	23642	2410	15088	1538	12439	1268

**10.3.5 Resistencia de uniones con pijas**

**10.3.5.1 Resistencia a la extracción**

a) Resistencia a tensión de la pija

La resistencia de las pijas determinadas con base en la sección correspondiente a la raíz de la rosca deberá ser igual o mayor que la carga de diseño.

b) Resistencia de pijas hincadas perpendicularmente a la fibra

La resistencia a la extracción de diseño de un grupo de pijas hincadas perpendicularmente a la fibra o determinada con la ecuación 10.3.4 deberá ser igual o mayor que la carga de diseño.

$$P_{re} = F_R Y_e l_p n \tag{10.3.5.1}$$

donde:

$$Y_e = Y_e' J_h J_d J_{gp} \tag{2.4.2}$$

$Y_e'$  = resistencia especificada de extracción por unidad de longitud de penetración calculada con las siguientes ecuaciones de acuerdo con el tipo de madera:

Para coníferas:

$$Y_e' = -0.0601D^2 + 9.322D - 22.679$$

Para latifoliadas:

Grupo I:

$$Y_e' = -0.1318D^2 + 19.566D - 0.670$$

Grupo II:

$$Y_e' = -0.0893D^2 + 13.557D - 13.40$$

Grupo III:

$$Y_e' = -0.0697D^2 + 10.16D - 22.29$$

Grupo IV:

$$Y_e' = -0.0401D^2 + 6.679D - 26.77$$

donde:

$Y_e'$  = resistencia especificada a la extracción de pijas, N/mm

$D$  = diámetro de la pija, mm

$l_p$  = longitud efectiva de penetración de la parte roscada de la pija en el miembro que recibe la punta

$n$  = número de pijas en el grupo

$F_R$  = se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

c) Resistencia de pijas hincadas paralelamente a la fibra

La resistencia de pijas hincadas paralelamente a la fibra deberá tomarse igual a la mitad de la correspondiente a las pijas hincadas perpendicularmente a la fibra.

**10.3.5.2 Resistencia lateral**

a) Longitud de penetración,  $l_p$ , para el cálculo de resistencia lateral

Las longitudes máximas de penetración utilizadas en la determinación de la resistencia lateral,  $P_{ru}$  y  $Q_{ru}$  de pijas, no deberán exceder los valores dados en la tabla 10.3.5.2.

**Tabla 10.3.5.2 - Valores máximos de la longitud de penetración,  $l_p$ , para cálculo de resistencia lateral**

	Coníferas	Latifoliadas			
		Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
Longitud de penetración	10D	8D	9D	10D	11D

b) Pijas hincadas perpendicularmente a la fibra

La resistencia lateral de diseño de un grupo de pijas,  $P_{ru}$ ,  $Q_{ru}$  o  $N_{ru}$ , deberá ser igual o mayor que el efecto de las cargas de diseño y se calcularán de acuerdo con las siguientes expresiones:

Para carga paralela a la fibra

$$P_{ru} = F_r A_1 n Y_u \tag{10.3.5.2.a}$$

Para carga perpendicular a la fibra

$$Q_{ru} = P_{ru} J_n \tag{10.3.5.2.b}$$

Para carga a un ángulo  $\theta$  con respecto a la fibra

$$N_{ru} = \frac{P_{ru} Q_{ru}}{P_{ru} \text{sen}^2\theta + Q_{ru} \text{cos}^2\theta} \tag{10.3.5.2.c}$$

donde:

- $Y_u$  =  $Y_u' J_n J_d J_{gp} J_g$  (2.4.2)
- $Y_u'$  = valor especificado (tabla 10.3.5.2)
- $J_n$  = factor de modificación por la carga perpendicular a la fibra (tabla 2.2.20)
- $A_1$  = superficie de apoyo de la pija, igual a  $D \cdot I_p$
- $n$  = número de pijas en un grupo
- $F_r$  = se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

**Tabla 10.3.5.2 Valores especificados de resistencia lateral para cargas paralelas a la fibra en pijas,  $Y_u'$ , MPa (kg/cm<sup>2</sup>)**

	Coníferas	Latifoliadas			
		Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
$Y_u'$	3.0 (31)	5.3 (54)	4.1 (42)	3.2 (33)	2.5 (25)

c) Pijas hincadas paralelamente a la fibra

La resistencia lateral de pijas hincadas paralelamente a la fibra deberá tomarse igual a 0.67 de los valores correspondientes para pijas hincadas perpendicularmente a la fibra. No es aplicable el factor de incremento por pieza lateral metálica,  $J_{gp}$ .

**10.4 Uniones con placas dentadas o perforadas**

**10.4.1 Consideraciones generales**

**10.4.1.1** Se entiende por uniones con placas dentadas o perforadas, uniones a base de placas de pequeño calibre en las que la transferencia de carga se efectúa por medio de dientes formados en las placas o por medio de clavos.

**10.4.1.2** Las placas deberán ser de lámina galvanizada con las propiedades mínimas indicadas en la norma NMX-B-009-CANACERO-1996 “Láminas de acero al carbón galvanizadas por el proceso de inmersión en caliente para uso general”.

**10.4.1.3** Las uniones deberán detallarse de manera que las placas en los lados opuestos de cada unión sean idénticas y estén colocadas en igual posición.

**10.4.1.4** Cuando se trate de placas clavadas deberá entenderse el término “clavo” en lugar de “diente”.

**10.4.1.5** Para que sean aplicables las reglas de dimensionamiento de las siguientes secciones deberán satisfacerse las siguientes condiciones:

- a) Que la placa no se deforme durante su instalación
- b) Que los dientes sean perpendiculares a la superficie de la madera
- c) Que la madera bajo las placas no tenga defectos ni uniones de “cola de pescado”
- d) Que el grosor mínimo de los miembros unidos sea el doble de la penetración de los dientes.

#### **10.4.2 Dimensionamiento**

**10.4.2.1** El dimensionamiento de uniones a base de placas dentadas o perforadas podrá efectuarse por medio de cualquiera de los siguientes procedimientos:

- a) Demostrando experimentalmente que las uniones son adecuadas, mediante pruebas de los prototipos de las estructuras en que se utilicen dichas uniones. Las pruebas deberán realizarse de acuerdo con los lineamientos que establezca la Administración
- b) Determinando las características de las placas requeridas de acuerdo con las capacidades de las placas obtenidas por medio de las pruebas que especifique la Administración.

#### **10.5 Uniones con bambú**

**10.5.1** Para las uniones en estructuras de bambú no se detalla un método de diseño por carecer, en el país, de datos suficientes que permitan diseñar de manera segura. Para estas estructuras se utilizan tres tipos básicos de uniones denominados P, Q y T las cuales se ilustran en las figuras 10.5.1.1.a, 10.5.1.1.b y 10.5.1.1.c. Para su utilización en estructuras se deben tomar las precauciones pertinentes en cuanto a la calidad del material, principalmente el bambú el cual no debe presentar rajaduras, ataque de insectos ni indicios de pudrición.

**10.5.2** Además de los tres tipos de unión anteriores se puede usar cualquier otra solución siempre y cuando se realicen ensayos para tener información mínima sobre su comportamiento y respaldar su diseño.

#### **10.5.1 Dimensionamiento**

**10.5.1.1** El dimensionamiento de uniones con bambú podrá efectuarse demostrando experimentalmente que las uniones son adecuadas, mediante pruebas, que deberán realizarse de acuerdo con los lineamientos que establezca la Administración y deben ser autorizados por ella.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

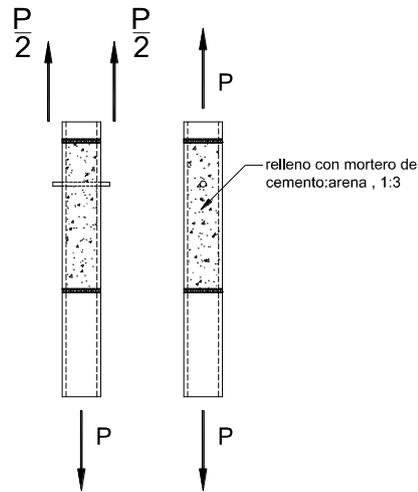


Figura 10.5.1.1.a - Unión de bambú con cargas a tensión paralelas a la fibra, tipo P.

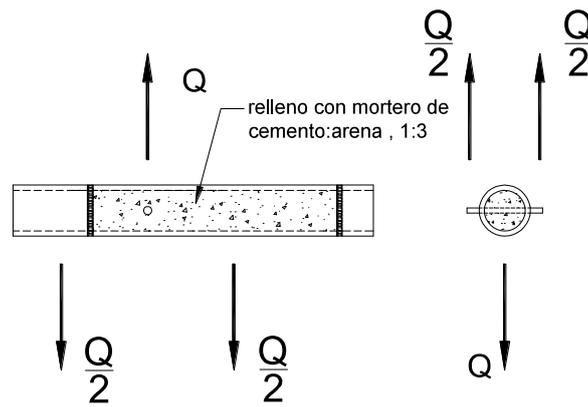


Figura 10.5.1.1.b - Unión de bambú con cargas a tensión perpendiculares a la fibra, tipo Q.

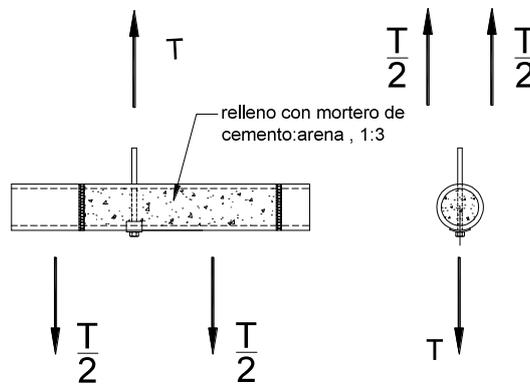


Figura 10.5.1.1.c - Unión de bambú con cargas a compresión perpendiculares a la fibra, tipo T.

## 11. EJECUCIÓN DE OBRAS

### 11.1 Consideraciones generales

**11.1.1** Las indicaciones dadas en esta sección son condiciones necesarias para la aplicabilidad de los criterios de diseño dados en estas Normas.

**11.1.1.2** Cuando la madera y el bambú se usen como elemento estructural, deberán estar exentos de infestación activa de agentes biológicos como hongos e insectos. Se permitirá cierto grado de ataque por insectos, siempre que estos hayan desaparecido al momento de usar la madera o el bambú en la construcción. No se admitirá madera ni bambú con pudrición en ningún estado de avance.

**11.1.1.3** Se podrá usar madera de coníferas o de latifoliadas que estén clasificadas para su uso estructural y el bambú con lo establecido en el Apéndice B.

### 11.2 Normas de calidad

**11.2.1** La calidad de la madera de coníferas se regirá por la norma NMX-C-239-ONNCCE-2014. Para madera de especies latifoliadas deberá utilizarse norma NMX-C-409-ONNCCE-1999.

### 11.3 Contenido de humedad

**11.3.1** Antes de la construcción, la madera y el bambú deberán secarse a un contenido de humedad apropiado y tan cercano como sea práctico al contenido de humedad en equilibrio promedio de la región en la cual estará la estructura.

**11.3.1.1** La tabla 11.3.1 indica la relación existente entre humedad relativa, temperatura del bulbo seco y contenido de humedad en equilibrio de la madera maciza de coníferas. Los valores de contenido de humedad en equilibrio para madera contrachapada, para madera maciza de latifoliadas y para bambú, se calculan utilizando los datos de esta tabla tal como se indica al pie de esta.

**11.3.1.2** Si el contenido de humedad de la madera o el bambú excede el límite indicado en estas Normas para la madera seca (18 por ciento), el material solamente podrá usarse si el riesgo de pudrición en el tiempo que dure el secado es eliminado.

**Tabla 11.3.1.2 - Contenido de humedad en equilibrio de la madera maciza de coníferas<sup>[1]</sup> de acuerdo con la humedad relativa y la temperatura de bulbo seco**

Humedad relativa, %	Rango de temperatura del bulbo seco, grados K (°C)	Contenido de humedad en equilibrio ± 0.5 (%)
45	273 a 313 (0 a 40)	8.3
50	273 a 313 (0 a 40)	9.1
55	273 a 313 (0 a 40)	10.0
60	273 a 313 (0 a 40)	10.8
65	273 a 313 (0 a 40)	11.8
70	273 a 313 (0 a 40)	12.9
72	273 a 313 (0 a 40)	14.2
75	273 a 313 (0 a 40)	15.8
80	273 a 313 (0 a 40)	17.8
mayor que 80	273 a 313 (0 a 40)	20.3

<sup>[1]</sup> Los valores de contenido de humedad en equilibrio para madera contrachapada y madera maciza de latifoliadas son aproximadamente 2 por ciento más bajos que los dados en la tabla.

**11.3.1.3** Todos los materiales que se usen estructuralmente dentro del alcance de esta norma deben ser almacenados y protegidos apropiadamente, contra cambios en su contenido de humedad y daño mecánico, de tal manera que siempre satisfagan los requerimientos de la clase estructural especificada.

#### **11.4 Protección a la madera**

**11.4.1** Se cuidará que los materiales para uso estructural dentro del alcance de esta norma estén debidamente protegidos contra cambios de humedad, insectos, hongos, y fuego durante toda la vida útil de la estructura. Podrá protegerseles ya sea por medio de tratamientos químicos, recubrimientos apropiados, o prácticas de diseño y construcción adecuadas.

**11.4.2** Los preservadores solubles en agua o en aceite utilizados en la preservación de madera destinada a la construcción deberán cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-178-ONNCCE-2014.

**11.4.3** Cuando se usen tratamientos a presión deberá cumplirse con la clasificación y requisitos de penetración y retención de acuerdo con el uso y riesgo esperado en servicio indicado por la norma NMX-C-322-ONNCCE-2014.

#### **11.5 Pendiente mínima de los techos**

**11.5.1** La superficie de los techos deberá tener una pendiente mínima de 5 por ciento hacia las salidas del drenaje para evitar la acumulación de agua de lluvia. Deberán revisarse periódicamente estas salidas para mantenerlas libres de obstrucciones.

#### **11.6 Tolerancias**

**11.6.1** Las tolerancias en las dimensiones de la sección transversal de un miembro de madera aserrada deberán conformar con los requerimientos prescritos en la norma NMX-C-224-ONNCCE-2001. Cuando se utilicen miembros de dimensiones distintas a las especificadas en la norma, las dimensiones de la sección transversal de un miembro no serán menores que las de proyecto en más de 3 por ciento.

#### **11.7 Transporte y montaje**

**11.7.1** El ensamblaje de estructuras deberá llevarse a cabo en tal forma que no se produzcan esfuerzos excesivos en la madera, placas de madera o bambú no considerados en el diseño. Los miembros torcidos o rajados más allá de los límites tolerados por las reglas de clasificación deberán ser reemplazados. Los miembros que no ajusten correctamente en las juntas deberán ser reemplazados. Los miembros dañados o aplastados localmente no deberán ser usados en la construcción.

**11.7.2** Deberá evitarse sobrecargar, o someter a acciones no consideradas en el diseño a los miembros estructurales, durante almacenamiento, transporte y montaje, y esta operación se hará de acuerdo con las recomendaciones del proyectista.

## **12. RESISTENCIA AL FUEGO**

### **12.1 Medidas de protección contra fuego**

#### **12.1.1 Especificaciones de diseño en relación con protección contra el fuego en viviendas de madera**

**12.1.1.1** Las especificaciones de diseño relacionadas con esta sección deberán tomar como base las indicaciones de la NTC-Proyecto Arquitectónico, 4.2 Resistencia al fuego y confinamiento.

#### **12.1.2 Determinación de la resistencia al fuego de los elementos constructivos**

**12.1.2.1** La determinación de la resistencia al fuego de los muros y cubiertas deberá hacerse de acuerdo con lo especificado en la norma NMX-C-307-ONNCCE-2009.

#### **12.1.3 Características de quemado superficial de los materiales de construcción**

**12.1.3.1** Las características de quemado superficial de los materiales utilizados como recubrimiento se deberán determinar de acuerdo con lo indicado en la norma mexicana NMX-C-294 (1980) o las normas extranjeras ASTM E84 /UL 723.

#### **12.1.4 Dimensiones y recubrimientos contra fuego**

**12.1.4.1** Protección de pisos contra fuego. Los ensambles de pisos que no se requiere en alguna otra parte de este reglamento que sean clasificadas con respecto a su resistencia al fuego, deberán ser provistos con una membrana de tablero de yeso de 12 mm de espesor, membrana de tablero de madera estructural de 16 mm de espesor, o el equivalente en la parte inferior de los miembros del entramado del piso. Las penetraciones o aberturas para ductos, ventilas, contactos eléctricos, lámparas, dispositivos, luminarias, alambres, bocinas, drenaje, tubería y aberturas similares o penetraciones serán permitidos.

**12.1.4.2** Construcción de muros protegidos. La madera contrachapada para forro o revestimiento de muros en combinación con revestimiento de yeso y tableros para muro sobre pies derechos se reconoce por los reglamentos internacionales y extranjeros como muros exteriores de carga con una hora de resistencia al fuego. Un ejemplo típico es madera clasificada estructuralmente sobre revestimiento de yeso Tipo X de 16 mm de espesor adherido a pies derechos de 38 mm nominales de grosor a 41 cm o 61 cm centro a centro. La clasificación de resistencia al fuego para muros exteriores aplica solamente al lado interior del muro cuando la separación a la línea de la colindancia es mayor a 3.05 m.

**12.1.4.3** Los ensambles de muro protegidos clasificados para fuego calificarán para la clasificación de una hora si se añaden otros materiales sobre los materiales resistentes al fuego. Por ejemplo, tableros de madera contrachapada clasificada estructuralmente sobre forro traslapado puede añadirse al exterior de un muro clasificado sin afectar la calificación. También se permite el uso de madera contrachapada clasificada estructuralmente entre la protección al fuego y los pies derechos de madera.

**12.1.4.4** Cubiertas para techo clasificadas para fuego. La clasificación para resistencia al fuego de materiales para techo está listada como Clase A, B, o C en orden descendente de la protección al fuego proporcionada. Los tableros no tratados de madera contrachapada clasificada estructuralmente se reconocen como un sustrato para cubiertas estructurales de techo para cubiertas de techo clasificadas. Para requerimientos individuales, vea el Directorio U.L. de Materiales y Sistemas para Techo.

**12.1.4.5** Madera laminada estructural clasificada para fuego. La resistencia al fuego de un miembro estructural se mide por el tiempo que puede soportar su carga de diseño durante un fuego. Una viga o columna expuesta dimensionada para una resistencia al fuego mínima de una hora soportará su carga de diseño completa cuando menos por una hora conforme a las condiciones de prueba de fuego la norma ASTM E119, que simulan un fuego real.

**12.1.4.6** Vigas. Para adaptar las vigas laminadas para una clasificación por fuego de una hora, el arreglo básico se modifica reemplazando una lámina del centro o interior de la viga por una lámina de tensión adicional.

**12.1.4.7** Columnas. Las columnas generalmente no necesitan un arreglo especial para calificar para una clasificación de resistencia al fuego de una hora, pero pueden requerir una sección mayor, conforme a 12.1.4.8.

**12.1.4.8** El cálculo de la habilidad de una viga o columna de madera laminada sujeta a la acción del fuego en tres o cuatro caras, se efectúa con las ecuaciones siguientes:

a) Para vigas:

Fuego en tres caras

$$t = ZB \left( 4 - \frac{B}{D} \right) \tag{12.1.4.8.a}$$

Fuego en cuatro caras

$$t = ZB \left( 4 - \frac{2B}{D} \right) \tag{12.1.4.8.b}$$

b) Para columnas:

Fuego en tres caras

$$t = ZB \left( 3 - \frac{B}{2D} \right) \tag{12.1.4.8.c}$$

Fuego en cuatro caras

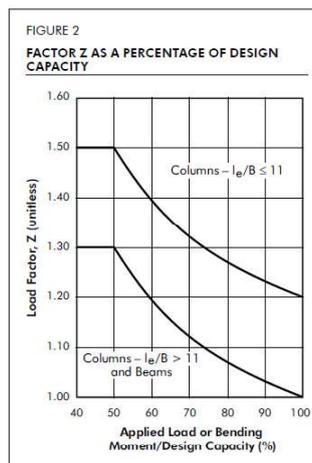
$$t = ZB \left( 3 - \frac{B}{2D} \right) \tag{12.1.4.8.d}$$

Donde:

- $t$  = resistencia al fuego, minutos
- $Z$  = factor de compensación de carga parcial, que es una función aplicada a la capacidad de diseño
- $B$  = ancho de una viga o la dimensión más pequeña de una columna, cm
- $D$  = espesor de una viga o la dimensión más grande de la columna, cm.

*Comentario:*

*Este cálculo se basa en metodologías descritas en la referencia IBC 2009 Sección 721.6. El valor de Z se puede obtener de la gráfica adjunta:*



Factor Z para cálculo de resistencia al fuego de elementos laminados de madera

**12.1.4.9** En adición a las especificaciones descritas en esta capítulo, se deberán satisfacer las especificaciones de los métodos indicados en el Capítulo 4 de la NTC-Proyecto Arquitectónico, las que resulten mayores.

**12.1.4.10** Se aceptará obtener las dimensiones, espesores y recubrimientos de elementos estructurales por cualquier otro método a satisfacción del Director y, en su caso, del Corresponsable. En todos los casos, no deberán ofrecer protección menor la requerida en este Capítulo 6 a 8, así como en el Capítulo 4 de la NTC-Proyecto Arquitectónico.

*Comentario:*

- a) *Para la revisión por fuego, en esta versión de la Norma se requiere el cumplimiento de dimensiones (de vigas y columnas, por ejemplo), de espesores (de sistemas de piso y techo), así como del espesor del recubrimiento de los elementos estructurales con objeto de satisfacer el número de horas mínimo de exposición al fuego que permita proteger la vida de los ocupantes.*
- b) *Debería anotarse que estas disposiciones para membranas protectoras contra el fuego aplican no solamente a los pisos con viguetas I, sino a todos los ensambles de pisos residenciales, incluyendo armaduras de piso, armazones de acero de calibre ligero y madera de 1-1/2 pulgada de grueso y madera estructural compuesta con dimensión nominal menor a 2 pulgadas por 10 pulgadas. Estas serán efectivas cuando sean adoptadas por la jurisdicción local. El diseñador del proyecto consultará con la jurisdicción local para los requerimientos del reglamento.*

*Adicionalmente a la protección prescrita de tablero de yeso de 12 mm o tablero de madera estructural de 16 mm, la publicación Reporte de Sistema APA SR-405, Protección Contra Fuego de Pisos Construidos con Viguetas I de Madera Prefabricadas que Cumplan con el Reglamento Internacional Residencial provee métodos protectores prescriptivos para vigas I de madera de ingeniería que han demostrado equivalencia a la Excepción 4 del IRC 2018 Sección R302.13 de acuerdo con los requerimientos de ICC-ES AC14.*

- c) *Estos y otros ensambles adicionales que cumplen con los requerimientos de protección contra el fuego de IRC se detallan en el Reporte de Sistema APA SR-405, disponible para descarga gratuita en el sitio de APA, [www.apawood.org](http://www.apawood.org).*

## **12.2 Diseño de elementos estructurales y ejecución de uniones**

### **12.2.1 Diseño de elementos estructurales aislados**

**12.2.1.1** La determinación de la resistencia al fuego de los muros y cubiertas deberá hacerse de acuerdo con los métodos establecidos en el capítulo 4 de la NTC Proyecto Arquitectónico o en el capítulo 16 de la norma extranjera *National Design Specification for Wood Construction (NDS)*.

*Comentario:*

*Las vigas y columnas de madera laminada pueden adaptarse a una clasificación para el fuego de una hora de acuerdo con los procedimientos de diseño prescritos en las NDS, Capítulo 16. Las vigas y columnas laminadas deben ser del tamaño suficiente y capacidad para soportar las cargas aplicadas de acuerdo con las provisiones de diseño de la NDS Capítulo 16.*

*Como con todos los entramados estructurales, las especificaciones finales de miembros diseñados para tener una resistencia al fuego de una hora deberían ser verificadas cuidadosamente por un ingeniero o arquitecto profesional para asegurar el cumplimiento con todos los reglamentos de construcción.*

*El uso de retardantes para fuego impregnados a presión no es recomendado para maderas laminadas.*

### **12.2.2 Ejecución de uniones**

**12.2.2.1** Cuando se diseñe una estructura con juntas que transfieran momentos o fuerzas concentradas importantes de un elemento a otro, se deberá tener especial cuidado en el comportamiento de dichas juntas, ya que, como efecto de elevadas temperaturas, pueden presentarse asentamientos o plastificación parcial o total de los elementos de unión que causen redistribución de cargas.

**12.2.2.2** Conectores de metal. En las estructuras que usan madera laminada clasificada para una hora, los conectores de soporte metálicos y sujetadores también deben ser diseñados para alcanzar una clasificación por fuego de una hora. El tablero de yeso (Tipo X) clasificado por fuego, una cobertura de madera de 12 mm de espesor o cualquier barniz aprobado para clasificación de una hora proveen la protección necesaria.

## APÉNDICE A. PROPIEDADES EFECTIVAS DE LA SECCIÓN PARA UNA SERIE DE COMBINACIONES ADECUADAS DE CHAPAS PARA PLACAS DE MADERA CONTRACHAPADA.

### A.1. Aplicación

**A.1.1** En este apéndice se presentan las propiedades efectivas de la sección que pueden ser utilizadas en el diseño estructural con placas de madera contrachapada.

**A.1.2** Las placas de madera contrachapada pueden ser fabricadas con un número de combinaciones diferentes de chapas, para cada uno de los diversos grosores nominales de las placas. Se entiende por grosor nominal, la designación comercial del grosor de las placas o de las chapas. El grosor real de las placas puede variar ligeramente, dependiendo de la tolerancia en manufactura y la combinación de chapas empleada.

**A.1.3** Para determinar las propiedades de las diferentes secciones incluidas en este apéndice se consideraron chapas con grosores nominales comerciales disponibles en México actualmente. Se incluyen únicamente las cuatro combinaciones que se estima son más convenientes para el uso estructural, de los seis grosores nominales comerciales más comúnmente producidos en el país.

**A.1.4** Las propiedades de la sección dadas en la tabla A.3 son para diseños realizados de acuerdo con las especificaciones de estas Normas y para placas de madera contrachapada de una calidad y comportamiento estructural que cumplan con los requisitos de la sección 4.1 de las mismas.

### A.2. Propiedades de la sección

**A.2.1** Las propiedades de la sección incluidas en la tabla A.3 para flexión, tensión, compresión y cortante en el plano de las chapas se calcularon considerando únicamente las chapas con la fibra paralela a la dirección del esfuerzo. Para tomar en cuenta la contribución de las chapas con la dirección de la fibra perpendicular al esfuerzo, se multiplicaron los valores de las propiedades así obtenidos por las constantes *C* de la tabla A.1. Para los cálculos de resistencia a cortante a través del grosor deberá utilizarse el área total de la sección transversal de la placa de madera contrachapada.

**A.2.2** El cálculo de las propiedades de esta sección se realizó utilizando el siguiente procedimiento:

**A.2.2.1** La suma de los grosores nominales de las chapas para una combinación particular se disminuyó en 0.8 mm en forma simétrica, para tener en cuenta las tolerancias en grosor comunes en procesos de fabricación con control de calidad adecuado. Al valor del grosor disminuido se le llama grosor neto. Para las placas con la fibra en las chapas exteriores paralelas al esfuerzo se consideró que las chapas con menor grosor eran las exteriores. Para las placas con la fibra en las chapas exteriores perpendicular al esfuerzo, se tomaron como grosores disminuidos, los de las chapas transversales contiguas a las exteriores. En ambos casos el cálculo resulta en la condición más conservadora.

**Tabla A.1 Valores de C para obtener las propiedades efectivas de las placas de madera contrachapada**

Número de chapas	Orientación	Módulo de sección	Momento de inercia
3 chapas	90°	2.0	1.5
4 chapas y más	90°	1.2	1.2
Todas las chapas	0°	1.0	1.0

**A.2.2.2** Los grosores de las chapas consideradas se mantuvieron dentro de los siguientes límites:

**Tabla A.2 Límites en grosores de chapas**

1) Grosor mínimo de chapa	2.5 mm (excepto como se indica en 4, 5 y 6)
2) Grosor máximo de chapas exteriores	3.2 mm (excepto como se indica en 7)
3) Grosor máximo de chapas interiores	6.4 mm
4) Chapas transversales que pueden usarse en placas con 5 chapas de 12 mm de grosor	2.1 mm
5) Cualquier chapa que se desee en placas con 5 chapas con grosor menor que 12 mm	1.6 mm
6) Chapas centrales en placas de 5 chapas	1.6 mm
7) Las placas de 5 chapas con 19 mm de grosor nominal deberán tener todas las chapas del mismo grosor	4.0 mm

Espacio en blanco dejado de manera intencional

**Tabla A.3 Grososres de las chapas y propiedades efectivas de la sección para placas de madera contrachapada sin pulir**  
**a) Propiedades de la sección por un metro de ancho cuando las chapas exteriores son paralelas al esfuerzo**

Grosor nominal	Grosor de las chapas				Grosor neto	Grosor efectivo	Área efectiva	Módulo de sección efectivo	Momento de inercia efectivo	Constante para cortante por flexión
	Número de chapas	Chapas exteriores	Chapas transversales	Centros						
		mm	mm	mm						
mm					$T$	$t_p$	$A_I$	$S_I$	$I_I$	$I b/Q$
9	3	3.18	2.54	—	8.10	4.3	4 286 (42.86)	8 570 (8.57)	32 000 (3.20)	5 611 (56.11)
9	3	3.18	3.18	—	8.74	5.6	5 566 (55.66)	12 140 (12.14)	53 100 (5.31)	6 396 (63.96)
9	5	3.18	1.59	2.54	8.10	4.9	4 926 (49.26)	7 440 (7.44)	30 200 (3.02)	6 117 (61.17)
9	3	2.12	2.12	1.59	9.27	5.0	5 036 (50.36)	10 850 (10.85)	50 300 (5.03)	7 377 (73.77)
12	5	3.18	6.35	—	11.90	5.6	5 566 (55.66)	20 080 (20.08)	119 700 (11.97)	9 416 (94.16)
12	5	2.54	2.54	1.59	10.95	5.9	5 874 (58.74)	15 550 (15.55)	85 200 (8.52)	8 730 (87.30)
12	5	2.54	2.12	2.54	11.06	6.8	6 826 (68.26)	15 960 (15.96)	88 300 (8.83)	8 519 (85.19)
12	5	3.18	2.12	1.59	11.39	7.2	7 156 (71.56)	18 810 (18.81)	107 200 (10.72)	8 711 (87.11)
16	5	2.54	3.18	3.97	14.61	8.3	8 256 (82.56)	23 750 (23.75)	173 600 (17.36)	11 318 (113.18)
16	5	2.54	3.97	2.54	14.76	6.8	6 826 (68.26)	23 530 (23.53)	173 700 (17.37)	12 123 (121.23)
16	5	3.18	3.97	1.59	15.08	7.2	7 156 (71.56)	28 470 (28.47)	214 900 (21.49)	12 315 (123.15)
16	5	3.18	3.97	3.18	15.08	8.7	8 746 (87.46)	28 810 (28.81)	217 600 (21.76)	11 818 (118.18)
19	5	3.97	3.97	3.97	19.05	11.1	11 116 (111.16)	46 290 (46.29)	441 100 (44.11)	14 886 (148.86)
19	7	2.54	2.54	3.18	18.26	10.6	10 646 (106.46)	36 960 (36.96)	337 600 (33.76)	14 886 (148.86)
19	7	2.54	3.18	2.54	18.90	9.4	9 366 (93.66)	36 710 (36.71)	347 000 (34.70)	13 756 (137.56)
19	7	3.18	2.54	3.18	19.54	11.9	11 926 (119.26)	46 250 (46.25)	452 000 (45.20)	13 941 (139.41)
22	5	2.54	5.56	5.56	20.95	9.8	9 846 (98.46)	37 740 (37.74)	395 600 (39.56)	16 461 (164.61)
22	5	3.18	4.76	6.35	21.43	11.9	11 916 (119.16)	47 500 (47.50)	509 100 (50.91)	16 424 (164.24)
22	7	3.18	2.54	3.97	21.12	13.5	15 306 (153.06)	53 620 (53.62)	566 400 (56.64)	14 731 (147.31)
22	7	2.54	3.97	2.54	21.27	9.4	9 366 (93.66)	42 340 (42.34)	450 500 (45.05)	15 657 (156.57)
25	5	3.18	6.35	6.35	24.61	11.9	11 916 (119.16)	55 920 (55.92)	688 300 (68.83)	14 930 (194.30)
25	7	2.54	4.76	3.18	24.92	10.6	10 646 (106.46)	57 230 (57.23)	663 400 (66.34)	17 913 (179.13)
25	7	3.18	3.97	3.18	23.83	11.9	11 926 (119.26)	59 320 (59.32)	707 000 (70.70)	17 386 (173.86)
25	7	3.18	3.18	4.76	24.62	15.1	15 086 (150.86)	67 860 (67.86)	835 500 (83.55)	16 951 (169.51)

Tabla A.3 (cont.) Grosos de las chapas y propiedades efectivas de la sección para placas de madera contrachapada sin pulir

Grosor nominal mm	Número o de chapas		Grosor de las chapas		Grosor neto $T$	Grosor efectivo $t_p$	Área efectiva	Módulo de sección efectivo	Momento de inercia efectivo	Constante para flexión por flexión
	Chapas exteriores	Chapas transversales	mm	mm						
9	3	3.18	2.54	—	8.10	1.7	1 746 (17.46)	1 520 (1.52)	700 (0.07)	—
9	3	3.18	3.18	—	8.74	2.4	2 386 (23.86)	2 850 (2.85)	1 700 (0.17)	—
9	5	3.18	1.59	2.54	8.10	2.4	2 386 (23.86)	4 190 (4.19)	10 300 (1.03)	4 632 (46.32)
9	3	2.12	2.12	1.59	9.27	3.4	3 446 (34.46)	4 910 (4.91)	12 400 (1.24)	4 334 (43.34)
12	5	3.18	6.35	—	11.90	5.6	5 555 (55.55)	15 430 (15.43)	21 400 (2.14)	—
12	5	2.54	2.54	1.59	10.95	4.3	4 286 (42.86)	6 770 (6.77)	19 900 (1.99)	4 972 (49.72)
12	5	2.54	2.12	2.54	11.06	3.4	3 446 (34.46)	5 520 (5.52)	19 800 (1.98)	5 394 (53.94)
12	5	3.18	2.12	1.59	11.39	3.4	3 446 (34.46)	4 910 (4.91)	12 400 (1.24)	4 334 (43.34)
16	5	2.54	3.18	3.97	14.61	5.6	5 566 (55.66)	16 880 (16.88)	80 500 (8.05)	8 563 (85.63)
16	5	2.54	3.97	2.54	14.76	7.1	7 146 (71.46)	18 430 (18.43)	89 200 (8.92)	8 171 (81.71)
16	5	3.18	3.97	1.59	15.08	7.1	7 146 (71.46)	15 170 (15.17)	66 300 (6.63)	7 185 (71.85)
16	5	3.18	3.97	3.18	15.08	5.6	5 566 (55.66)	14 560 (14.56)	63 700 (6.37)	7 675 (76.75)
19	5	3.97	3.97	3.97	19.05	7.1	7 146 (71.46)	23 590 (23.59)	131 100 (13.11)	9 729 (97.29)
19	7	2.54	2.54	3.18	18.26	6.8	6 826 (68.26)	24 330 (24.33)	160 400 (16.04)	12 692 (126.92)
19	7	2.54	3.18	2.54	18.90	8.7	8 746 (87.46)	30 550 (30.55)	211 200 (21.12)	12 697 (126.97)
19	7	3.18	2.54	3.18	19.54	6.8	6 826 (68.26)	24 330 (24.33)	160 400 (16.04)	12 692 (126.92)
22	5	2.54	5.56	5.56	20.95	16.3	10 326 (103.26)	48 310 (48.31)	383 700 (38.37)	13 862 (138.62)
22	5	3.18	4.76	6.35	21.43	8.7	8 726 (87.26)	42 060 (42.06)	317 100 (31.71)	13 666 (136.66)
22	7	3.18	2.54	3.97	21.12	6.8	6 826 (68.26)	23 530 (23.53)	208 500 (20.85)	14 547 (145.47)
22	7	2.54	3.97	2.54	21.27	11.1	11 116 (111.16)	44 080 (44.08)	357 000 (35.70)	14 558 (145.58)
25	5	3.18	6.35	6.35	24.61	11.9	11 906 (119.06)	63 850 (63.85)	582 800 (58.28)	15 916 (159.16)
25	7	2.54	4.76	3.18	24.92	13.5	13 486 (134.86)	66 000 (66.00)	655 000 (65.50)	17 891 (178.91)
25	7	3.18	3.97	3.18	23.83	11.1	11 116 (111.16)	46 190 (46.19)	429 800 (42.98)	16 031 (160.31)
25	7	3.18	3.18	4.76	24.62	8.7	8 746 (87.46)	44 650 (44.65)	407 900 (40.79)	17 880 (178.80)

## APÉNDICE B. CLASIFICACIÓN DEL BAMBÚ ESTRUCTURAL.

### B.1. Alcance

**B.1.1** El bambú para fines estructurales debe cumplir con un mínimo de requisitos de calidad para garantizar la seguridad de las construcciones.

**B.1.2** Se puede usar cualquier especie de las presentadas en la tabla 2.9 que son aquellas para las que se han obtenido valores de diseño resultados de experimentos con muestras nacionales, para cualquier otra especie que no aparezca en la tabla, sus valores de diseño deberán determinarse experimentalmente con una base estadística robusta y de acuerdo con lo establecido en normas internacionales para ensayos con este material.

### B.2. Especificaciones para bambú de uso estructural

- a) La edad del bambú estructural debe ser entre 4 y 6 años o la edad que aplique en particular para cada especie
- b) Los culmos no deberán tener una desviación longitudinal (arqueamiento) mayor a 0.33 % de la longitud del elemento
- c) Las piezas de bambú no deberán presentar una conicidad mayor a 1%
- d) La suma total de las grietas, considerándose éstas como separaciones de las fibras en todo el grosor de la pared del culmo, en el elemento no deberá exceder el 50 % de la longitud total del mismo
- e) La longitud total permisible de la grieta más larga no debe ser mayor del 30 %
- f) Los miembros con grietas permitidas deben colocarse de manera tal que las grietas estén en las zonas a compresión o a tensión, pero nunca en el eje neutro, en los puntos en donde se presente el cortante máximo.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

## **APÉNDICE C. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE VIGAS DE MADERA LAMINADA DE CONÍFERAS**

**C.1** Para el cálculo de los elementos laminados se podrán usar los valores de las propiedades geométricas del Apéndice C. Para otras configuraciones deberán hacerse los cálculos de acuerdo con el método de la sección transformada. Utilizando los valores del módulo de elasticidad correspondientes a cada una de las láminas de la configuración seleccionada.

Espacio en blanco dejado de manera intencional

Tabla C.1 Propiedades geométricas de vigas de madera laminada<sup>[1]</sup>

Clase estructural	Secciones							Módulo de sección $S$ $\text{mm}^3 \times 10^3$	Momento de Inercia $I_{x-x}$ $\text{mm}^4 \times 10^6$
	Ancho $b$ mm	Peralte $d$ mm	No. láminas $n$	$d/b$	Área $A$ $\text{mm}^2 \times 10^3$				
24F	89	225	6	2.53	20.03	737.62	82.98		
		263	7	2.95	23.36	983.59	129.10		
		300	8	3.37	26.70	1253.75	188.06		
	114	263	7	2.30	30.06	1259.88	165.36		
		300	8	2.62	34.29	1605.93	240.89		
		338	9	2.95	38.58	1986.43	335.21		
	140	300	8	2.15	41.91	1972.19	295.83		
		338	9	2.42	47.15	2439.63	411.69		
		375	10	2.68	52.39	2941.94	551.61		
	165	338	9	2.04	55.72	2875.28	485.20		
		375	10	2.27	61.91	3467.28	650.12		
413		11	2.50	68.10	4100.16	845.66			
20F	89	225	6	2.53	20.03	733.89	81.31		
		263	7	2.95	23.36	977.24	126.26		
		300	8	3.37	26.70	1243.79	183.66		
	114	263	7	2.30	30.06	1251.74	161.72		
		300	8	2.62	34.29	1593.17	235.25		
		338	9	2.95	38.58	1968.60	327.12		
	140	300	8	2.15	41.91	1956.53	288.90		
		338	9	2.42	47.15	2417.74	401.76		
		375	10	2.68	52.39	2913.29	538.13		
	165	338	9	2.04	55.72	2849.48	473.50		
		375	10	2.27	61.91	3433.51	634.22		
413		11	2.50	68.10	4057.94	824.93			
16F	89	225	6	2.53	20.03	724.30	77.21		
		263	7	2.95	23.36	965.64	119.92		
		300	8	3.37	26.70	1224.22	173.83		
	114	263	7	2.30	30.06	1236.88	153.61		
		300	8	2.62	34.29	1568.10	222.66		
		338	9	2.95	38.58	1932.15	309.07		
	140	300	8	2.15	41.91	1925.74	273.44		
		338	9	2.42	47.15	2372.98	379.58		
		375	10	2.68	52.39	2853.26	508.02		
	165	338	9	2.04	55.72	2796.73	447.37		
		375	10	2.27	61.91	3362.77	598.74		
413		11	2.50	68.10	3968.01	778.66			

[1] Para otras dimensiones deben ser calculadas las propiedades geométricas de las vigas.

---

---

## REFERENCIAS EN LOS COMENTARIOS

ANSI 05.1-2017. Wood Poles: Specifications and Dimensions.

APA. Systems Report SR-405, Fire Protection of Floors Constructed with Prefabricated Wood I-Joists for Compliance with the International Residential Code (Protección Contra Fuego de Pisos Construidos con Viguetas I de Madera Prefabricadas que Cumplan con el Reglamento Internacional Residencial), octubre de 2020.

Canadian Wood Council. Wood Design Manual (Manual de Diseño de Estructuras de Madera de Canadá) (2020).

ICC Evaluation Services. AC14 - Prefabricated Wood I-joists. ICC-ES AC14.

International Residential Code. Excepción 4 del IRC 2018 Sección R302.13

UL Materiales de Construcción. Pruebas, Certificación y Capacitación (2020).