



NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA

ÍNDICE

DEFINICIONES

1. CONSIDERACIONES GENERALES

- 1.1 Alcance
- 1.2 Unidades
- 1.3 Clasificación estructural de la madera maciza de origen nacional
- 1.4 Dimensiones
- 1.5 Contenido de humedad
- 1.6 Madera importada
- 1.7 Anchos de cubierta a considerar para soporte de cargas concentradas
- 1.8 Cargas vivas concentradas para diseño de pisos de madera
- 1.9 Acciones accidentales

2. PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO

- 2.1 Métodos de diseño
- 2.2 Valores especificados de resistencia y rigideces
- 2.3 Factores de resistencia
- 2.4 Valores modificados de resistencia y rigideces
 - 2.4.1 Factores de modificación para madera maciza y madera contrachapada, madera laminada y bambú
 - 2.4.2 Factores de modificación para uniones
- 2.5 Factor de comportamiento sísmico para estructuras de madera y bambú
- 2.6 Encharcamiento en techos planos

3. RESISTENCIAS DE DISEÑO DE MIEMBROS DE MADERA MACIZA

- 3.1 Miembros en tensión
- 3.2 Miembros bajo cargas transversales
 - 3.2.1 Requisitos generales
 - 3.2.1.1 Claro de cálculo
 - 3.2.1.2 Recortes
 - 3.2.2 Resistencia a flexión
 - 3.2.3 Estabilidad lateral
 - 3.2.3.1 Requisitos generales
 - 3.2.3.2 Cálculo del factor de estabilidad lateral, ϕ
 - 3.2.4 Resistencia a cortante
 - 3.2.4.1 Sección crítica
 - 3.2.4.2 Resistencia a cortante de diseño
 - 3.2.4.3 Factor de recorte, K_r
- 3.3 Miembros sujetos a combinaciones de momento y carga axial de compresión
 - 3.3.1 Requisito general
 - 3.3.2 Fórmula de interacción para flexión uniaxial
 - 3.3.3 Efectos de esbeltez
 - 3.3.3.1 Longitud sin soporte lateral
 - 3.3.3.2 Longitud efectiva
 - 3.3.3.3 Limitaciones
 - 3.3.4 Momentos en los extremos
 - 3.3.5 Momentos debido a encorvadura
 - 3.3.6 Fórmula de interacción para flexión biaxial
- 3.4 Miembros sujetos a combinaciones de momento y carga axial de tensión
 - 3.4.1 Momento uniaxial y tensión
 - 3.4.2 Momento biaxial y tensión
- 3.5 Compresión o aplastamiento actuando con un ángulo ζ respecto a la fibra de la madera diferente de 0°
 - 3.5.1 Resistencia a compresión perpendicular a la fibra ($\zeta=90^\circ$)
 - 3.5.2 Efecto del tamaño de la superficie de apoyo
 - 3.5.3 Cargas aplicadas a un ángulo ζ con respecto a la dirección de la fibra

4. RESISTENCIA DE DISEÑO DE PLACAS A BASE DE MADERA

- 4.1 Requisitos del material
- 4.2 Orientación de los esfuerzos



- 4.3 Resistencia a carga axial
 - 4.3.1 Resistencia a tensión
 - 4.3.2 Resistencia a compresión
 - 4.3.3 Resistencia a tensión o compresión a un ángulo ζ con la fibra de las chapas exteriores
- 4.4 Placas en flexión
 - 4.4.1 Flexión con cargas normales al plano de la placa
 - 4.4.2 Flexión con cargas en el plano de la placa
- 4.5 Resistencia a cortante
 - 4.5.1 Cortante en el plano de las chapas debido a flexión
 - 4.5.2 Cortante a través del grosor
- 4.6 Aplastamiento

5. RESISTENCIA DE DISEÑO DE MADERA LAMINADA

- 5.1 Consideraciones generales

6. RESISTENCIA DE DISEÑO DE MIEMBROS DE BAMBÚ

- 6.1 Consideraciones generales
- 6.2 Miembros en tensión
- 6.3 Miembros bajo cargas transversales
 - 6.3.1 Recortes
 - 6.3.2 Resistencia a flexión
 - 6.3.3 Estabilidad lateral
 - 6.3.3.1 Requisitos generales
 - 6.3.4 Resistencia a cortante
 - 6.3.4.1 Resistencia a cortante de diseño
- 6.4 Miembros sujetos a combinaciones de momento y carga axial de compresión
 - 6.4.1 Resistencia a carga axial
- 6.5 Compresión o aplastamiento actuando en un ángulo ζ respecto al eje del culmo diferente a 0°

7. DEFLEXIONES

- 7.1 Madera maciza
- 7.2 Madera contrachapada

8. ELEMENTOS DE UNIÓN

- 8.1 Consideraciones generales
 - 8.1.1 Alcance
 - 8.1.2 Resistencia a corte
- 8.2 Clavos
 - 8.2.1 Alcance
 - 8.2.2 Configuración de las uniones
 - 8.2.3 Dimensiones de uniones clavadas con madera maciza
 - 8.2.3.1 Resistencia lateral
 - 8.2.3.2 Resistencia a extracción de clavos lanceros
 - 8.2.4 Dimensiones de uniones clavadas con madera contrachapada
- 8.3 Pernos y pijas
 - 8.3.1 Requisitos comunes
 - 8.3.1.1 Contacto entre las piezas unidas
 - 8.3.1.2 Agujeros
 - 8.3.1.3 Grupos de elementos de unión
 - 8.3.1.4 Rondanas
 - 8.3.2 Requisitos particulares para pernos
 - 8.3.2.1 Consideraciones generales
 - 8.3.2.2 Grosos efectivos de las piezas
 - 8.3.2.3 Espaciamiento entre pernos
 - 8.3.3 Resistencia de uniones con pernos
 - 8.3.3.1 Resistencia lateral
 - 8.3.3.2 Resistencia a cargas laterales y axiales combinadas
 - 8.3.4 Requisitos particulares para pijas
 - 8.3.4.1 Consideraciones generales
 - 8.3.4.2 Colocación de las pijas en las uniones
 - 8.3.4.3 Penetración de las pijas
 - 8.3.5 Resistencia de uniones con pijas



- 8.3.5.1 Resistencia a la extracción
- 8.3.5.2 Resistencia lateral
- 8.4 Uniones con placas dentadas o perforadas
- 8.4.1 Consideraciones generales
- 8.4.2 Dimensionamiento
- 8.5 Uniones con bambú
- 8.5.1 Dimensionamiento

9. EJECUCIÓN DE OBRAS

- 9.1 Consideraciones generales
- 9.2 Normas de calidad
- 9.3 Contenido de humedad
- 9.4 Protección a la madera
- 9.5 Pendiente mínima de los techos
- 9.6 Tolerancias
- 9.7 Transporte y montaje

10. RESISTENCIA AL FUEGO

- 10.1 Medidas de protección contra fuego
- 10.1.1 Especificaciones de diseño en relación a protección contra fuego en viviendas de madera
- 10.1.2 Determinación de la resistencia al fuego de los elementos constructivos
- 10.1.3 Características de quemado superficial de los materiales de construcción
- 10.2 Diseño de elementos estructurales y ejecución de uniones
- 10.2.1 Diseño de elementos estructurales aislados
- 10.2.2 Ejecución de uniones

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

- A.1 Aplicación
- A.2 Propiedades de la sección

APÉNDICE B - CLASIFICACIÓN DEL BAMBÚ ESTRUCTURAL

- B.1 Alcance
- B.2 Especificaciones para bambú de uso estructural

APÉNDICE C – PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE VIGAS DE MADERA LAMINADA DE CONÍFERAS

NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA

DEFINICIONES

Columnas o postes

Elementos estructurales sometidos esencialmente a cargas de compresión y que actúan en forma aislada por tener gran separación entre sí.

Conicidad

Diferencia de los promedios de los diámetros de los extremos de una pieza de bambú, dividida por la longitud de la pieza.

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 o bambú expresado como un porcentaje de su peso anhidro.

Contenido de humedad en equilibrio

Contenido de humedad que alcanzan la madera o el bambú en condiciones estables de humedad relativa y temperatura.



Cubierta

Duelas, tablas o placas de madera contrachapada, placas 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 o bambú poco espaciados.

Culmo

Tallo de los bambúes, equivalente al tronco del árbol.

Curvatura

Deformación de un elemento estructural de su eje longitudinal, provocando momentos flexionantes en madera o bambú bajo cargas axiales. En bambú se limita a 0.33 % de su longitud, se mide colocando la pieza sobre una superficie plana y la distancia mayor de la deformación es la que se evalúa.

Chapa

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

Peso específico

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

Densidad relativa básica

Peso anhidro de la madera o el bambú 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.

Entrenudo

Porción del culmo comprendida entre dos nudos.

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 o del bambú.

Forro

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

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 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

Placa compuesta 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.

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.

Piezas húmedas

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

Piezas secas

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

Orientación de las fibras

Disposición de las fibras con respecto al eje longitudinal del tronco del árbol o culmo del bambú, en el caso de la madera su dirección puede ser: recta, inclinada, en espiral o entrelazada.

Pies derechos

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

Placas de tiras orientadas (OSB)

Placas 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.

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.

Viguetas

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

NOTACIÓN

A	área total de la sección, mm ² (cm ²)
A ₁	área efectiva de la sección transversal de las chapas en la dirección considerada, mm ² (cm ²)
A _a	área de la superficie de apoyo por aplastamiento, mm ² (cm ²)
A ₁	superficie de apoyo de la pija igual a D _{1p} , mm ² (cm ²)
A _m	área bruta del elemento principal, mm ² (cm ²)
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 ² (cm ²)
A _s	suma de las áreas brutas de las piezas laterales, mm ² (cm ²)
B	ancho de la sección transversal, mm (cm)
C	factor para obtener los valores efectivos de propiedades geométricas de madera contrachapada (tabla A.1)
CH	contenido de humedad (%) (sección 1.5)
C _{FE}	factor de corrección para cálculo de estabilidad lateral
C _s	factor de esbeltez (inciso 3.2.3.2)
D	diámetro del conector, mm (cm)
D _e	diámetro exterior promedio del culmo, mm
D _i	diámetro interior promedio del culmo, mm
D _o	diámetro o lado de la rondana (tabla 6.3), mm (cm)
D	peralte de la sección, mm (cm)
d _e	peralte efectivo para determinación de la resistencia a cortante de un miembro con conectores (inciso 6.1.2), mm (cm)
d _r	profundidad del recorte (inciso 3.2.4.3), mm (cm)
E _{0,05}	módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil, MPa (kg/cm ²)
E _{0,50}	módulo de elasticidad promedio, MPa (kg/cm ²)
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 (inciso 3.2.4.3), mm (cm)
F _R	factor de resistencia
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 ²)
f _{cu} [◊]	valor especificado de esfuerzo en compresión paralelo a la fibra, MPa (kg/cm ²)
f _{fu}	valor modificado de esfuerzo en flexión, MPa (kg/cm ²)
f _{fu} [◊]	valor especificado de esfuerzo en flexión, MPa (kg/cm ²)
f _{nu}	valor modificado de esfuerzo en compresión perpendicular a la fibra, MPa (kg/cm ²)
f _{nu} [◊]	valor especificado de esfuerzo en compresión perpendicular a la fibra, MPa (kg/cm ²)
f _{tu}	valor modificado de esfuerzo cortante en el plano de las chapas, MPa (kg/cm ²)
f _{tu} [◊]	valor especificado de esfuerzo cortante en el plano de las chapas, MPa (kg/cm ²)
f _{tu} [◊]	valor modificado de esfuerzo en tensión paralela a la fibra, MPa (kg/cm ²)
f _{tu} [◊]	valor especificado de esfuerzo en tensión paralelo a la fibra, MPa (kg/cm ²)
f _{uc}	esfuerzo de compresión último de diseño que actúa sobre un elemento, MPa (kg/cm ²)
f _{uf}	esfuerzo de flexión último de diseño que actúa sobre un elemento, MPa (kg/cm ²)
f _{vgu}	valor modificado de esfuerzo cortante a través del grosor, MPa (kg/cm ²)
f _{vgu} [◊]	valor especificado de esfuerzo cortante a través del grosor, MPa (kg/cm ²)
f _{vu}	valor modificado de esfuerzo cortante paralelo a la fibra, MPa (kg/cm ²)
f _{vu} [◊]	valor especificado de esfuerzo cortante paralelo a la fibra, MPa (kg/cm ²)
G _{0,50}	módulo de rigidez promedio, MPa (kg/cm ²)
g	grosor promedio del culmo
I	momento de inercia de la sección, mm ⁴ (cm ⁴)
I ₁	momento de inercia efectivo en la dirección considerada, mm ⁴ (cm ⁴)
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 pijas
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_h	factor de modificación por contenido de humedad para dimensionamiento de secciones
K_p	factor de modificación por peralte
K_r	factor de modificación por recorte
K_v	factor de modificación por condición de apoyo o compartición de carga en cortante
k	factor para determinar la longitud efectiva de columnas (inciso 3.3.3.2)
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_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 placas contrachapadas, N (kg)
N_{ru}	resistencia lateral de diseño de una unión, N (kg)
$N_{R\zeta}$	resistencia a compresión de diseño sobre un plano con un ángulo ζ respecto a las fibras, N (kg)
N_u	resistencia lateral modificada por elemento de unión, N (kg)
N_u^c	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 (inciso 3.3.5), N (kg)
P_{pu}	resistencia lateral modificada por elemento de unión para cargas paralelas a la fibra, N (kg)
P_{pu}^c	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}^c	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 giro mínimo de la sección, mm (cm)
S	módulo de sección, mm ³ (cm ³)
S_1	módulo de sección efectivo en la dirección considerada, mm ³ (cm ³)
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 de la placa de madera contrachapada, mm (cm)
t_1	grosor de la pieza lateral del lado de la cabeza del elemento de unión, mm (cm)
t_e	grosor efectivo de la placa de madera contrachapada, mm (cm)



t_0	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 placas de madera contrachapada, N (kg)
Y_e	resistencia en extracción modificada para pijas, MPa (kg/cm ²)
Y_e^c	resistencia en extracción especificada para pijas, MPa (kg/cm ²)
Y_u	resistencia lateral modificada para cargas paralelas a la fibra en pijas, MPa (kg/cm ²)
Y_u^c	resistencia lateral especificada para cargas paralelas a la fibra en pijas, MPa (kg/cm ²)
γ	densidad relativa igual a peso anhidro / volumen verde
ζ	ángulo formado entre la dirección de la carga y la dirección de la fibra
ϕ	factor de estabilidad lateral en vigas (inciso 3.2.3)

1. CONSIDERACIONES GENERALES

1.1. Alcance

Estas disposiciones son aplicables a elementos estructurales de madera aserrada, nacional e importada, de cualquier especie, cuya densidad relativa promedio, γ , sea igual o superior a 0.30, a elementos estructurales como placas madera contrachapada o de partículas, madera laminada y bambú.

Para efectos de las presentes Normas, las maderas que se usan en la construcción se clasifican en coníferas y latifoliadas. En la tabla 1.1.1 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.

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

Tabla 1.1.1 Grupos de maderas latifoliadas

	Intervalo de valores de $E_{0.05}$	
	MPa	(kg/cm ²)
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)

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 Administración.

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 Administración.

1.2 Unidades

Las disposiciones de estas Normas se presentan en unidades del sistema internacional, y entre paréntesis en sistema métrico MKS.

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.

1.3 Clasificación estructural de la madera maciza de origen nacional

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 “Especificaciones y métodos de ensayo para la calificación y clasificación visual de madera dimensionada de pino para usos estructurales”, 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 “Clasificación visual para maderas latifoliadas de uso estructural”.

Otros métodos de clasificación deberán ser aprobados por la Administración.

1.4 Dimensiones

Para efectos de dimensionamiento se utilizarán con preferencia las secciones especificadas en la norma NMX-C-224-ONNCCE-2001 –Dimensiones de la madera aserrada para su uso en la construcción”. 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

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 o bambú secos 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

El mercado de la madera en la industria de la construcción en la Ciudad de México, 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

Para el diseño de cubiertas se consideran como anchos, b, de la sección que soporta las cargas vivas concentradas indicadas en la sección 1.8, los valores de la tabla 1.1.2, tanto para el cálculo de resistencia como de deflexión.

Tabla 1.1.2 Anchos, b, para soporte de cargas concentradas en cubiertas

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

¹ Grosor mínimo 19 mm;

² Grosor mínimo 13 mm;

³ Grosor mínimo 9 mm.

1.8 Cargas vivas concentradas para diseño de pisos de madera

Para el diseño de pisos ligeros de madera se deben tomar en consideración las disposiciones señaladas en el inciso 6.1.2 de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, con las siguientes observaciones relacionadas con las cargas vivas concentradas:

a) En el caso de sistemas de piso ligeros de madera con cubierta rigidizante destinados a habitación (inciso a) de la tabla 6.1.1 de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones) se considerará en lugar de W_m , cuando sea más desfavorable una carga concentrada de 1.2 kN (120 kg) para el diseño de los elementos de soporte y de 1 kN (100 kg) para el diseño de la cubierta, en ambos casos ubicadas en la posición más desfavorable.

b) Se considerarán sistemas de piso ligeros de madera aquellos formados por tres o más miembros a base de madera, aproximadamente paralelos y separados entre sí por no más de 813 mm, y unidos con una cubierta de madera contrachapada, de duelas de madera adecuadamente clavadas u otro material que proporcione una rigidez equivalente.

c) En el caso de sistemas de piso ligeros con cubierta rigidizante definidos como en la nota anterior, pero destinados a oficinas, despachos y laboratorios (inciso b) de la tabla 6.1.1 de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, se considerará en lugar de W_m , cuando sea más desfavorable, una carga concentrada de 2 kN (200 kg) para el diseño de los elementos de soporte y de 1.5 kN (150 kg) para el diseño de la cubierta, ubicadas en la posición más desfavorable.

1.9 Acciones accidentales

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 el inciso i) de la tabla 6.1 de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones. Para el caso de los incendios, se deberán observar las provisiones señaladas en el Capítulo 10 de estas Normas.

2. PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO

2.1 Métodos de diseño

El diseño de elementos de madera y bambú y de los elementos de unión requeridos para formar estructuras se lleva a cabo de acuerdo con los criterios de estados límite establecidos en las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, 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

La tabla 2.2.1 proporciona valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad para madera de coníferas, para las clases estructurales A, B y C. La tabla 2.2.2 establece valores especificados resistencias y módulos de elasticidad para los cuatro grupos de maderas de latifoliadas. Las tablas 2.2.3 y 2.2.4 contienen valores especificados resistencias y módulos de elasticidad de madera de coníferas provenientes de Estados Unidos. La tabla 2.2.5 contiene valores especificados de resistencias, módulos de elasticidad y de rigidez para madera contrachapada de especies de coníferas. La tabla 2.2.6 contiene valores especificados de resistencias, módulo de elasticidad y de rigidez para tableros de tiras orientadas (OSB). La tabla 2.2.7 contiene valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de elementos de madera laminada de especies coníferas. La tabla 2.2.8 contiene valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad para dos especies introducidas y una nativa de bambú aptas para la construcción. Los valores de las tablas corresponden a condición seca.

Tabla 2.2.1 Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de maderas de especies coníferas, MPa (kg/cm²)

		Clase		
		A	B	C
Flexión	f_{ru}^c	15.2 (155)	9.8 (100)	4.4 (45)
Tensión paralela a la fibra	f_{tu}^c	11.3 (115)	6.9 (70)	5.4 (55)
Compresión paralela a la fibra	f_{cu}^c	11.8 (120)	9.3 (95)	5.8 (60)
Compresión perpendicular a la fibra	f_{nu}^c	3.9 (40)	3.9 (40)	3.9 (40)
Cortante paralelo a la fibra	f_{vu}^c	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 2.2.2 Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de maderas de especies latifoliadas, MPa (kg/cm²)

		Grupo			
		I	II	III	IV
Flexión	f_{ru}^c	30.4 (310)	22.6 (230)	15.7 (160)	7.8 (80)
Tensión paralela a la fibra	f_{tu}^c	20.1 (205)	15.7 (160)	10.8 (110)	5.4 (55)
Compresión paralela a la fibra	f_{cu}^c	22.1 (225)	16.7 (170)	12.3 (125)	5.9 (60)
Compresión perpendicular a la fibra	f_{nu}^c	7.4 (75)	5.4 (55)	3.9 (40)	2.0 (20)
Cortante paralelo a la fibra	f_{vu}^c	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 2.2.3 Valores especificados de resistencia y módulos de elasticidad para madera de pino del sur (SYP) procedente de Estados Unidos, MPa (kg/cm²)

		Clase Estructural			
		Selecta	No. 1	No. 2	No. 3
Flexión	f_{ru}^c	13.0 (132.6)	8.3 (84.6)	6.5 (66.3)	3.8 (38.7)
Tensión paralela a la fibra	ϕ_{tu}^c	7.8 (80.0)	5.2 (52.6)	4.0 (41.1)	2.5 (25.1)
Compresión paralela a la fibra	f_{cu}^c	11.2 (114.2)	9.4 (96.0)	8.5 (86.8)	4.9 (50.3)
Compresión perpendicular a la fibra	f_{nu}^c	5.1 (51.6)	5.1 (51.6)	5.1 (51.6)	5.1 (51.6)



Cortante paralelo a la fibra	f_{vu}^c	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 2.2.4 Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad para madera de abeto Douglas (Douglas Fir) procedente de Estados Unidos, MPa (kg/cm²)

		Clase Estructural			
		Selecta estructural	No. 1	No. 2	No. 3
Flexión	f_{fu}^c	14.0 (142.6)	9.3 (95.1)	8.4 (85.5)	4.9 (49.9)
Tensión paralela a la fibra	f_{tu}^c	9.0 (91.4)	6.0 (61.7)	4.7 (48.0)	3.4 (34.3)
Compresión paralela a la fibra	f_{cu}^c	15.2 (155.4)	13.4 (137.1)	12.1 (123.4)	6.9 (70.8)
Compresión perpendicular a la fibra	f_{nu}^c	5.6	(57.1)	--	--
Cortante paralelo a la fibra	f_{vu}^c	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 2.2.5 Valores especificados de resistencias, módulo de elasticidad y módulo de rigidez de madera contrachapada de especies coníferas, MPa (kg/cm²)

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

Tabla 2.2.6 Valores especificados de resistencias, módulo de elasticidad y módulo de rigidez de placas de madera de tiras orientadas (OSB) de especies coníferas, MPa (kg/cm²)

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

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



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 2.2.7 Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de elementos de madera laminada de especies coníferas, MPa (kg/cm²)

		Clase estructural		
		24F	20F	16F
Flexión	f_{fu}^c	18.8 (190)	14.4 (145)	13.1 (135)
Tensión paralela a la fibra	f_{tu}^c	15.1 (150)	9.8 (100)	6.9 (70)
Compresión paralela a la fibra	f_{cu}^c	15.8 (160)	10.3 (105)	7.8 (80)
Compresión perpendicular a la fibra	f_{nu}^c	3.9 (40)	3.9 (40)	3.9 (40)
Cortante paralelo a la fibra	f_{vu}^c	1.38 (14)	1.38 (14)	1.38 (14)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	9 820 (100 000)	9 420 (95 000)	9 020 (90 000)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil	$E_{0.05}$	7 900 (80 000)	7 400 (75 000)	6 900 (70 000)

Tabla 2.2.8 Valores especificados de resistencia en flexión y módulos de elasticidad de elementos de madera laminada de especies de latifoliadas, MPa (kg/cm²)

		Clase estructural			
		I	II	III	IV
Flexión	f_{fu}^c	40.1 (410)	31.0 (315)	22.0 (225)	12.6 (128)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	10 100 (103 000)	8000 (81500)	5800 (59100)	3660 (37300)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil	$E_{0.05}$	7 100 (72 370)	5 800 (59 100)	4 400 (44 900)	3 080 (31 400)

Tabla 2.2.9 Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de bambúes leñosos, MPa (kg/cm²)

		Guadua aculeata	Guadua angustifolia	Bambusa oldhamii
Flexión	f_{fu}^c	23.2 (235)	25.6 (260)	33.7 (340)
Tensión paralela a la fibra	f_{tu}^c	20.6 (210)	36.4 (370)	58.1 (590)
Compresión paralela a la fibra	f_{cu}^c	16.9 (170)	23.7 (240)	20.4 (205)
Cortante paralelo a la fibra	f_{vu}^c	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 5° percentil	$E_{0.05}$	10 000 (100 000)	12 000 (122 000)	12 000 (122 000)

2.3 Factores de resistencia

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

Tabla 2.3.1 Factores de resistencia, para madera maciza, placas contrachapada y de partículas, madera laminada y bambú, F_R

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

2.4 Valores modificados de resistencias y rigideces

En los cálculos de las resistencias y las deformaciones para el diseño de los miembros o uniones se toman como valores de la resistencia o del módulo de elasticidad del material o del elemento de unión el modificado que resulte de multiplicar el valor especificado correspondiente por los factores de modificación apropiados, según los incisos 2.4.1 y 2.4.2.

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

- K_h factor por contenido de humedad (tabla 2.4.1).
 K_d factor por duración de carga (tabla 2.4.2).
 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_p factor por peralte (tabla 2.4.3). Aplicable a secciones que tengan un peralte d , menor o igual a 140 mm.
 K_v factor por condición de apoyo o compartición de carga en cortante (inciso 3.2.4.2).
 K_r factor por recorte (inciso 3.2.4.3).
 K_a factor por tamaño de la superficie de apoyo (tabla 2.4.4).
 K_g factor de modificación por grietas en elementos de bambú sometidos a flexión igual a 0.8 (inciso 6.3.2).

Tabla 2.4.1 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	
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

Tabla 2.4.2 Factores de modificación por duración de carga (aplicables para todos los materiales estructurales del alcance de esta norma)¹, 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

¹ No son aplicables a los módulos de elasticidad.

Tabla 2.4.3 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 2.4.4 Factores de modificación por tamaño de la superficie de apoyo¹, 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

¹ Este factor es aplicable solamente cuando la superficie de apoyo diste por lo menos 80 mm del extremo del miembro.

2.4.2 Factores de modificación para uniones

- J_h factor por contenido de humedad (tabla 2.4.5).
- J_g factor por grupo de conectores para pernos y pijas (tabla 2.4.6).
- J_d factor por duración de carga (tabla 2.4.7).
- J_{gp} factor por grosor de piezas laterales en pernos y pijas (tabla 2.4.8).
- J_{di} factor para clavos para diafragmas igual a 1.3.
- J_{gc} factor por grosor de piezas laterales en clavos (tabla 2.4.9).
- J_a factor para clavos lanceros (tabla 2.4.10).
- 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 2.4.11).
- J_{dp} factor por doblado de la punta en clavos (tabla 2.4.12).

Tabla 2.4.5 Factor de modificación por contenido de humedad en uniones, J_h

Condición de la madera cuando se fabrica la unión	Seca CH ≤ 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

2.5 Factor de comportamiento sísmico para estructuras de madera y bambú

Siguiendo los criterios del Capítulo 4 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, podrán utilizarse los siguientes valores de Q para estructuras cuya resistencia a fuerzas horizontales sea suministrada por sistemas estructurales a base de elementos de madera:

- a) $Q = 3.0$ para diafragmas contrachapados con madera contrachapada, diseñados de acuerdo con lo indicado en los Capítulos 4 y 8 de estas Normas;
- b) $Q = 2.0$ para diafragmas contrachapados con duelas inclinadas y para sistemas de muros con duelas de madera horizontales o verticales combinadas con elementos diagonales de madera maciza; y



c) $Q = 1.5$ para marcos y armaduras de madera maciza.

Para estructuras de madera del grupo B podrá utilizarse el método de análisis estático indicado en el Capítulo 7 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo calculando los valores de las fuerzas de cortante con los métodos descritos en las secciones 7.2 y 7.3 de dichas Normas. Las fuerzas sísmicas podrán reducirse si se cumplen los criterios señalados en las secciones 3.4 y 3.5 de las citadas Normas.

2.6 Encharcamiento en techos planos

Cada porción del techo debe diseñarse para sostener el peso del agua de lluvia que pudiera acumularse sobre ella cuando el sistema de drenaje no funcione correctamente.

Tabla 2.4.7 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 2.4.6 Factor de modificación por grupo de conectores para pernos y pijas¹, J_g

a) Para piezas laterales de madera									
Relación de áreas ²	La menor de A_m o A_s , mm^2 (cm^2)		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^2 (cm^2)		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

¹ Interpolarse para valores intermedios;

² Relación de áreas A_m/A_s o A_s/A_m , la que resulte menor, donde:

A_m Área bruta del miembro principal; y

A_s Suma de las áreas brutas de los miembros laterales.

Tabla 2.4.8 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 ¹	$\geq 3.5D$	1.00
	2.0D	0.60
Para piezas metálicas en pernos y pijas		1.50

¹ Para valores intermedios de grosores de piezas laterales hacer una interpolación lineal; donde **D** es el diámetro de la pija.

Tabla 2.4.9 Factor de modificación por grosor de piezas laterales de madera para clavos, J_{gc}

Grosor de la pieza lateral ¹	J_{gc}
1/3	1.00
1/6	0.50

¹ Para valores intermedios de grosores de piezas laterales hacer una interpolación lineal; donde **l** es el diámetro de la pija.

Tabla 2.4.10 Factor de modificación para clavos lanceros, J_a

Condición de carga	J_a
Clavo lancero	0.80
Clavo normal	1.00

Tabla 2.4.11 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 2.4.12 Factor de modificación por doblado de la punta de clavos, J_{dp}

Condición	J_{dp}
Cortante simple	1.6
Cortante doble ¹	2.0

¹ Las piezas laterales deberán tener un grosor cuando menos igual a la mitad del grosor de la pieza central.

3. RESISTENCIAS DE DISEÑO DE MIEMBROS DE MADERA MACIZA

3.1 Miembros en tensión

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

$$T_R = F_R f_{tu} A_n \quad (3.1.1)$$

donde:

$$f_{tu} = f_{tu}' K_h K_d K_c K_p \quad (\text{sección 2.4 e inciso 2.4.1})$$

A_n = área neta; y

F_R = factor de resistencia, igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

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 trespelillo 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

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 el inciso 3.5.1. En vigas continuas, el claro de cálculo se mide desde los centros de los apoyos continuos.

3.2.1.2 Recortes

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).

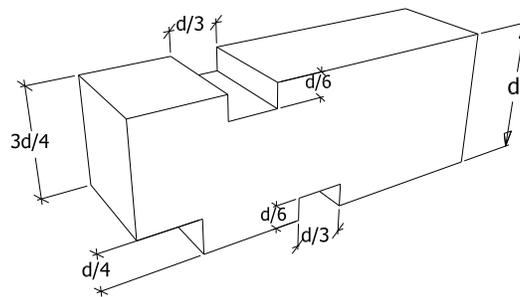


Figura 3.2.1 Recortes permitidos en elementos a flexión

3.2.2 Resistencia a flexión

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

$$M_R = F_R f_{fu} S \phi \quad (3.2.1)$$

donde:

$f_{fu} = f_{fu}' K_h K_d K_c K_p$, (sección 2.4 e inciso 2.4.1);

S módulo de sección;

ϕ factor de estabilidad lateral según el inciso 3.2.3; y

F_R se tomará igual a 0.8 (tabla 2.3.1).

3.2.3 Estabilidad lateral

3.2.3.1 Requisitos generales

Para vigas sin soportes laterales en sus apoyos que impidan la traslación y la rotación de sus extremos, el factor de estabilidad lateral, ϕ , 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 ϕ se determina de acuerdo con el inciso 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 ϕ . 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 ¹	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 ≤ 610 mm	6.5
d) Cuando se cumplan las condiciones del inciso c, y además exista bloqueo o arrojamiento 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

¹ 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 Cálculo del factor de estabilidad lateral, ϕ

a) Longitud sin soporte lateral, L_u

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.

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.

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

$$C_s = \sqrt{\frac{L_u d}{b^2}} \quad (3.2.3)$$

donde:

- L_u longitud sin soporte lateral, en mm, evaluada según tabla 3.2.2.
- L_u L_u (L_a)

c) Determinación del factor de estabilidad lateral, ϕ

El valor del factor de estabilidad lateral, ϕ , se determina con la expresión:

$$\phi = \frac{1 + \left(\frac{f_{f,E}}{f_{fu}}\right)}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + \left(\frac{f_{f,E}}{f_{fu}}\right)}{1.9} \right]^2 - \frac{\left(\frac{f_{f,E}}{f_{fu}}\right)}{0.95}} \quad (3.2.4)$$

donde:

$$f_{f,E} = \frac{C_{fE} * E_{0.05}}{C_s^2}$$

$$C_{fE} = 0.439 \text{ para madera aserrada}$$



= 0.610 para madera laminada

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

3.2.4 Resistencia a cortante

3.2.4.1 Sección crítica

La sección crítica para cortante de vigas se toma a una distancia del apoyo igual al peralte de la viga.

3.2.4.2 Resistencia a cortante de diseño

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

$$V_R = \frac{F_R f_{vu} bd}{1.5} \quad (3.2.7)$$

donde:

$$f_{vu} = f_{vu}' K_h K_d K_c \text{ (sección 2.4 e inciso 2.4.1); y}$$

F_R se toma igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

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

- a) En las secciones críticas de apoyos continuos; y
- b) En todas las secciones críticas de vigas de sistemas estructurales con compartición de carga.

En todos los demás casos $K_v = 1.0$.

Tabla. 3.2.2. Longitudes efectivas para cálculo de estabilidad lateral en vigas

Condición de carga	Soporte lateral en el punto de carga	Longitud efectiva, L_a
Vigas con un solo claro		
Carga uniformemente distribuida	No	$L_u = 1.63L_a + 3d$
Carga concentrada al centro	No	$L_u = 1.37L_a + 3d$
	Sí	$L_u = 1.11L_a$
Dos carga concentradas iguales @ 1/3 del claro	No	$1.84L_a < L_u < 2.06L_a$
	Sí	$L_u = 1.68L_a$
Tres cargas concentradas @ 1/4 del claro	No	$1.84L_a < L_u < 2.06L_a$
	Sí	$L_u = 1.54L_a$
Cuatro cargas concentradas @ 1/5 del claro	No	$1.84L_a < L_u < 2.06L_a$
	Sí	$L_u = 1.68L_a$
Cinco cargas concentradas @ 1/6 del claro	No	$1.84L_a < L_u < 2.06L_a$
	Sí	$L_u = 1.73L_a$
Seis cargas concentradas @ 1/7 del claro	No	$1.84L_a < L_u < 2.06L_a$
	Sí	$L_u = 1.78L_a$



Siete cargas concentradas @ 1/8 del claro	No	1.84La < Lu < 2.06La
	Sí	Lu = 1.84La
Ocho o más cargas concentradas @ separaciones iguales	No	1.84La < Lu < 2.06La
	Sí	Lu = 1.84La
Momentos iguales en los extremos (rotación opuesta)	-	Lu = 1.84La
Momentos iguales en los extremos (rotación igual)	-	1.84La < Lu < 2.06La
Vigas en voladizo		
Carga uniformemente distribuida	No	Lu = 0.90La + 3d
Carga concentrada en el extremo libre	No	Lu = 1.44La + 3d

Para cualquier condición de carga no considera en esta tabla, se tomará la condición más desfavorable:
1.84La < Lu < 2.06La

3.2.4.3 Factor de recorte, K_r

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

a) Recorte en el apoyo en la cara de tensión

$$K_r = \left(1 - \frac{u_r}{d} \right) \quad (3.2.8)$$

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

$$K_r = 1 - \frac{u_r}{d} \quad (3.2.9)$$

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

$$K_r = 1 - \frac{u_r e_r}{d(d - d_r)} \quad (3.2.10)$$

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

3.3.1 Requisito general

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

3.3.2 Fórmula de interacción para flexión uniaxial

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

$$\left(\frac{f_{uc}}{f_{cr}} \right)^2 + \frac{f_{uf}}{f_{fu} \left[1 - \left(\frac{f_{uc}}{f_{c,E}} \right) \right]} \leq 1 \quad (3.3.1)$$

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/cm²)



f_{cr} = $f_{cu}' K_h K_d K_e K_p$ (sección 2.4 e inciso 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, postes con sección transversal circular y elementos de bambú
= 0,855 para madera laminada

K_e = factor de estabilidad de columnas calculado como sigue:

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

c = 0,7 para elementos de bambú
 c = 0,8 para madera aserrada
 c = 0,85 para postes con sección transversal circular
 c = 0,9 para madera laminada

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

3.3.3 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 el inciso 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 rigidamente y espaciadores adecuados.

3.3.3.1 Longitud sin soporte lateral

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.

3.3.3.2 Longitud efectiva

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.

3.3.3.3 Limitaciones

a) Para miembros no arriostrados, los efectos de esbeltez pueden despreciarse si

$$\frac{k L_u}{r} \leq 40$$

donde:

r = radio de giro mínimo de la sección.

b) Para miembros arriostrados, los efectos de esbeltez pueden despreciarse si

$$\frac{k L_u}{r} \leq 60 - 20 \frac{M_1}{M_2}$$



donde:

M_1, M_2 momentos actuantes en los extremos multiplicados por el factor de carga apropiado;
 M_1 momento menor y se considera negativo cuando M_1 y M_2 producen curvatura doble; y
 M_2 momento mayor y siempre se considera positivo.

c) No se admiten valores de $k L_u/r$ superiores a 120.

3.3.4 Momentos en los extremos

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

a) La correspondiente al máximo momento asociado a la carga axial; o

b) 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.

3.3.5 Momentos debidos a encorvadura

Todos los miembros bajo compresión deben dimensionarse para una excentricidad

$$e_b = \frac{L_u}{300} \quad (3.3.2)$$

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 del inciso 3.3.6.

3.3.6 Fórmula de interacción para flexión biaxial

Cuando un miembro bajo compresión se encuentre sujeto a flexión respecto a ambos ejes principales, el momento de diseño respecto a cada eje se amplifica multiplicando por δ , calculada de acuerdo con las condiciones de restricción y rigidez a la flexión respecto al eje en cuestión.

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

$$\left(\frac{f_{uc}}{f_{cr}}\right)^2 + \frac{f_{uf}}{\left(1 - \frac{f_{uc}}{f_{c,Ex}}\right) f_{fu}} + \frac{f_{fy}}{\left[1 - \frac{f_{uc}}{f_{c,Ey}} - \left(\frac{f_{uf}}{f_{f,E}}\right)^2\right] f_{fu}} \leq 1.0 \quad (3.3.3)$$

$$y \quad \frac{f_{uc}}{f_{c,Ey}} + \left(\frac{f_{uf}}{f_{f,E}}\right)^2 \leq 1$$

donde:

$$f_{uc} < f_{c,Ex} = \frac{0.822E_{0.05}}{C_{sx}^2}$$

$$f_{uc} < f_{c,Ey} = \frac{0.822E_{0.05}}{C_{sy}^2}$$



$$f_{uf} < f_{f,E} = \frac{0.439E_{0.05}}{C_s^2}$$

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

3.4.1 Momento uniaxial y tensión

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

$$\frac{I_u}{T_R} + \frac{M_u}{M_R} \leq 1 \quad (3.4.1)$$

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

3.4.2 Momento biaxial y tensión

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

$$\frac{I_u}{T_R} + \frac{M_{xu}}{M_{xR}} + \frac{M_{yu}}{M_{yR}} \leq 1 \quad (3.4.2)$$

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; y
- M_{yR} momento resistente de diseño, respecto al eje Y.

3.5 Compresión o aplastamiento actuando con un ángulo θ respecto a la fibra de la madera diferente de 0°

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

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

$$N_R = F_R f_{nu} A_a \quad (3.5.1)$$

donde:

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

3.5.2 Efecto del tamaño de la superficie de apoyo

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 2.4.4 (inciso 2.4.1).

3.5.3 Cargas aplicadas a un ángulo θ con respecto a la dirección de la fibra

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

$$N_R = F_R \frac{J_{cu} J_{nu}}{f_{cu} \sin^2 \theta + f_{nu} \cos^2 \theta} \quad (3.5.2)$$



donde F_R se toma igual a 0.9.

4. RESISTENCIA DE DISEÑO DE PLACAS A BASE DE MADERA

4.1 Requisitos del material

La manufactura de las placas de madera contrachapada que vayan a ser sometidas a acciones, deberán cumplir con las especificaciones de la norma NMX-C-438-ONNCCE-2014 –Tableros contrachapados de madera de pino y otras coníferas - Clasificación y Especificaciones”.

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 la Administración. Cuando las placas se utilicen para soportar cargas en estructuras permanentes deberán ser del Tipo 3 definido en la norma NMX-C-438-ONNCCE-2014 –Tableros contrachapados de madera de pino y otras coníferas - Clasificación y Especificaciones” (exterior a prueba de agua) y la calidad de las chapas exteriores deben ser C o D de acuerdo con esa misma norma.

En el Apéndice A se presentan las propiedades de la sección para una serie de combinaciones adecuadas de chapas para placas 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

Las placas 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

La resistencia de diseño, T_R , a tensión paralela al canto de una placa de madera contrachapada se calculará como

$$T_R = F_R f_{tu} A_1 \quad (4.3.1)$$

donde:

$$f_{tu} = F_{tu} ' K_h K_d \text{ (sección 2.4 e inciso 2.4.1);}$$

A_1 área efectiva de la sección transversal en la dirección considerada (Apéndice A); y

F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

4.3.2 Resistencia a compresión

La resistencia de diseño, P_R , a compresión paralela al canto de una placa de madera contrachapada restringida contra el pandeo se calculará como

$$P_R = F_R f_{cu} A_1 \quad (4.3.2)$$

donde:

$$f_{cu} = f_{cu} ' K_h K_d \text{ (sección 2.4 e inciso 2.4.1).}$$

A_1 área efectiva de la sección transversal en la dirección considerada (Apéndice A); y

F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

4.3.3 Resistencia a tensión o compresión a un ángulo θ con la fibra de las chapas exteriores

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 , de la placa.



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 Placas en flexión

4.4.1 Flexión con cargas normales al plano de la placa

La resistencia de diseño, M_p , de una placa de madera contrachapada sujeta a flexión por cargas perpendiculares al plano de la placa se determinará con la ecuación

$$M_p = F_R f_{fu} S_1 \quad (4.4.1)$$

donde:

$f_{fu} = f_{fu}' K_h K_d$ (sección 2.4 e inciso 2.4.1);
 S_1 módulo de sección efectiva de la placa (Apéndice A); y
 F_R se tomará igual a 0.9 (tabla 2.3.1).

4.4.2 Flexión con cargas en el plano de la placa

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

$$M_Q = F_R f_{tu} \frac{t_p^2 d}{6} \quad (4.4.2)$$

donde:

$f_{tu} = f_{tu}' K_h K_d$ (sección 2.4 e inciso 2.4.1);
 t_p grosor efectivo de la placa de madera contrachapada (Apéndice A);
 d peralte del elemento; y
 F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

4.5 Resistencia a cortante

4.5.1 Cortante en el plano de las chapas debido a flexión

La resistencia de diseño a cortante en el plano de las chapas, V_{R1} , para placas sujetas a flexión se calculará como

$$V_{R1} = F_R \frac{Ib}{Q} f_{ru} \quad (4.5.1)$$

donde:

$f_{ru} = f_{ru}' K_h K_d$ (sección 2.4 e inciso 2.4.1);
 $\frac{Ib}{Q}$ constante para cortante por flexión (Apéndice A); y
 F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

4.5.2 Cortante a través del grosor

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



$$V_{R2} = F_R f_{vgu} A \quad (4.5.2)$$

donde:

$$f_{vgu} = f_{vgu}' K_h K_d \text{ (sección 2.4 e inciso 2.4.1);}$$

A área total de la sección transversal de la placa; y
F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

4.6 Aplastamiento

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

$$N_R = F_R f_{mu} A_a \quad (4.5.3)$$

donde:

$$f_{mu} = f_{mu}' K_h K_d \text{ (sección 2.4 e inciso 2.4.1);}$$

A_a área de la superficie de apoyo; y
F_R se tomará igual a 0.9 (tabla 2.3.1).

5. RESISTENCIA DE DISEÑO DE MADERA LAMINADA

5.1. Consideraciones generales

Para que se puedan emplear los valores de la Tablas 2.2.7 y 2.2.8, los elementos laminados deben cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- Las láminas que se empleen en la fabricación de los elementos 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.
- Las láminas de madera de coníferas mexicanas deberán ser clasificadas con la Norma Mexicana NMX-C-239-2014 "Clasificación visual para madera de pino de usos estructurales". 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 "Clasificación visual para maderas latifoliadas de uso estructural".
- Las láminas se encolarán con adhesivo del tipo de uso exterior (fenol-formaldehído, resorcinol, adhesivos de poliuretano o un adhesivo equivalente).
- 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.
- 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.

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 Administración.

6. RESISTENCIA DE DISEÑO DE MIEMBROS DE BAMBÚ

6.1 Consideraciones generales

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



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

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

6.3.2 Resistencia a flexión

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

$$M_R = F_R f_{fu} S \quad (6.3.1)$$

donde:

$f_{fu} = f_{fu}' K_h K_d K_c K_g$ (sección 2.4 e inciso 2.4.1);

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

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

F_R se tomará igual a 0.8 (tabla 2.3.1).

6.3.3 Estabilidad lateral

6.3.3.1 Requisitos generales

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

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

$$V_R = \frac{F_R f_{vu} S}{4 (D_e + D_i)^2} \quad (6.3.2)$$

donde:

D_e Diámetro exterior del culmo

D_i Diámetro interior del culmo

$f_{vu} = f_{vu}' K_h K_d K_c$ (sección 2.4 e inciso 2.4.1); y

F_R se toma igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

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

6.4.1 Requisito general

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 θ respecto al eje del culmo diferente a 0°



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.

7. DEFLEXIONES

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, como se indica en la sección 4.1 de las Normas Técnicas Complementaras sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

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).

7.1 Madera maciza

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

7.2 Madera contrachapada

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 2.2.5 puede ser usado para todas las calidades de madera contrachapada de pino que cumplan con los requisitos de la sección 5.1. El mismo valor es aplicable independientemente de la dirección de la fibra en las chapas exteriores.

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.

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.

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.

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

8. ELEMENTOS DE UNIÓN

8.1 Consideraciones generales

8.1.1 Alcance

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

8.1.2 Resistencia a cortante



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 el inciso 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.

8.2 Clavos

8.2.1 Alcance

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-CANACERO- 2011 –Clavos – Especificaciones y Métodos de prueba”.

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

8.2.2 Configuración de las uniones

Las uniones clavadas deberán tener como mínimo dos clavos.

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.

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

El grosor de la pieza lateral, t_1 , 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} .

8.2.3 Dimensionamiento de uniones clavadas con madera maciza

La resistencia lateral de diseño de clavos hincados perpendicularmente a la fibra deberá calcularse de acuerdo con el inciso 8.2.3.1.

La resistencia a la extracción de clavos se considerará nula en todos los casos, exceptuando lo indicado en el inciso 8.2.3.2.

8.2.3.1 Resistencia lateral

La resistencia lateral de diseño de una unión clavada, N_{ru} , deberá ser mayor que o igual a la carga actuante de diseño, y se obtendrá por medio de la expresión

$$N_{ru} = F_R N_u n \quad (8.2.1)$$

donde:

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

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

$N_u' = 50.53D^{2.01}$, para coníferas de origen nacional y extranjero (especies definidas en Tablas 2.2.3 y 2.2.4)

$N_u' = 88.07 D^{1.97}$, 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; y

F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

8.2.3.2 Resistencia a extracción de clavos lanceros

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

$$T_r = 0.10 N_{ru} \quad (8.2.2)$$



donde:

N_{ru} deberá ser calculada de acuerdo con el inciso 8.2.4.

8.2.4 Dimensionamiento de uniones clavadas con madera contrachapada

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 el inciso 8.2.3.1 utilizando el valor de N_u' especificado en la tabla 8.2.1.

Tabla 8.2.1 Resistencia lateral especificada para uniones con piezas laterales de madera contrachapada, N_u'

	Grosor del contrachapado	Longitud del clavo, l		N_u'
	mm	mm	plg	N (kg)
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)

8.3 Pernos y pijas

8.3.1 Requisitos comunes

8.3.1.1 Contacto entre las piezas unidas

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.

8.3.1.2 Agujeros

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.

8.3.1.3 Grupos de elementos de unión

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.

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; o
- Una o más pijas de las mismas características, bajo cortante simple, colocadas paralelamente a la dirección de la carga.

Cuando los elementos de unión se coloquen en trespunto 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 impar de hileras, se aplicará el criterio que resulte más conservador.

8.3.1.4 Rondanas

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 8.3.2. 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.

8.3.2 Requisitos particulares para pernos

8.3.2.1 Consideraciones generales

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 –Fornillos con cabeza hexagonal”.

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

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.

8.3.2.2 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.

8.3.2.3 Espaciamiento entre pernos

En las figuras 8.3.1 y 8.3.2 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:

Tabla 8.2.2 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

1) Para cargas paralelas a la fibra, cuatro veces el diámetro de los pernos (Fig. 8.3.3).

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. 8.3.4).

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. 8.3.3).

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. 8.3.4).

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. 8.3.3).

2) Cinco veces el diámetro del perno para miembros de maderas latifoliadas de los grupos I y II en tensión (Fig. 8.3.3).

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. 8.3.4).

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. 8.3.3 y 8.3.4).

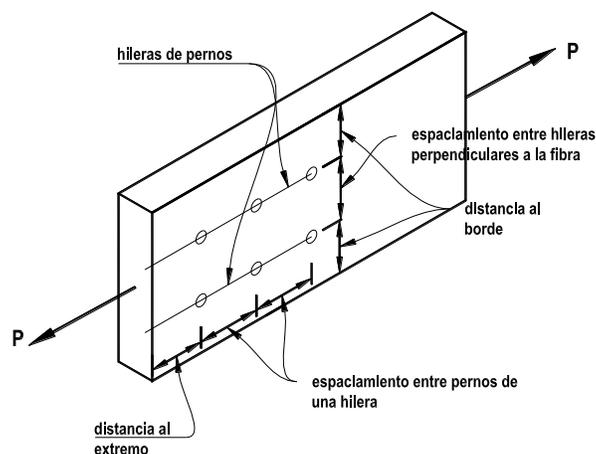


Figura 8.3.1. Descripción de las separaciones de los pernos en uniones con cargas paralelas a la fibra.

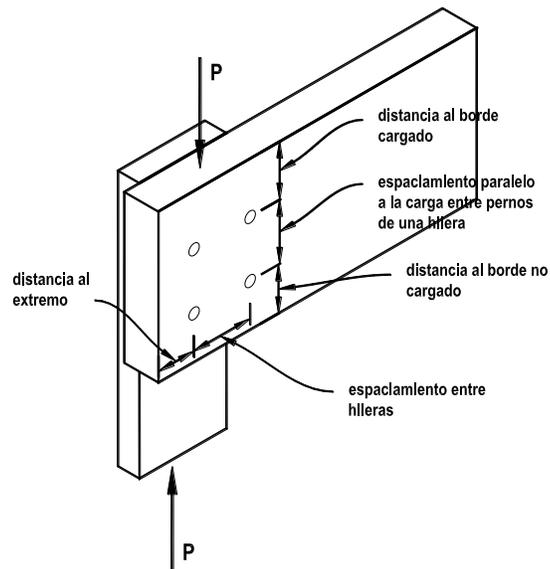


Figura 8.3.2 Descripción de las separaciones de los pernos en uniones con cargas perpendiculares a la fibra.

8.3.3 Resistencia de uniones con pernos

8.3.3.1 Resistencia lateral

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:

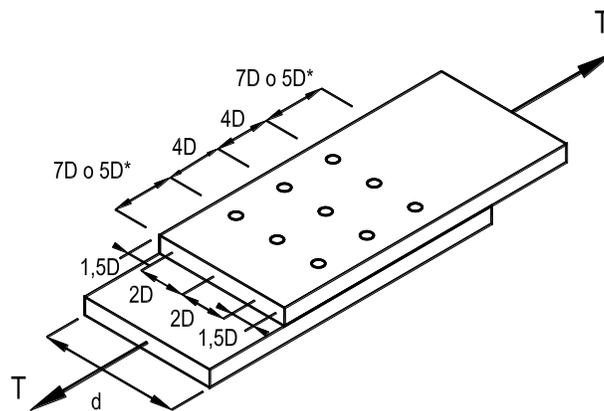


Figura 8.3.3 Espaciamento entre pernos de uniones con cargas paralelas a la fibra.

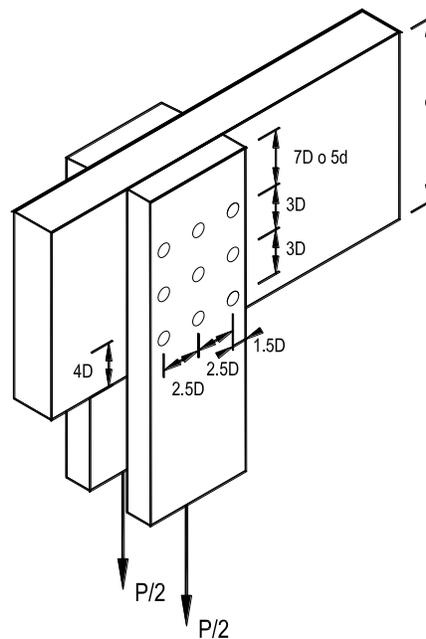


Figura 8.3.4 Espaciamiento entre pernos de uniones con cargas perpendiculares a la fibra.

Para carga paralela a la fibra

$$P_{ru} = F_R n_p P_{pu} n \quad (8.3.1)$$

Para carga perpendicular a la fibra

$$Q_{ru} = F_R n_p Q_{pu} n \quad (8.3.2)$$

Para cargas a un ángulo ζ con respecto a las fibras

$$N_{ru} = \frac{P_{ru} Q_{ru}}{P_{ru} \text{sen}^2 \theta + Q_{ru} \text{cos}^2 \theta} \quad (8.3.3)$$

donde:

n_p número de planos de cortante;

$P_{pu} = P_{pu}' J_h J_g J_d$ (inciso 2.4.2);

$Q_{pu} = Q_{pu}' J_h J_g J_d$ (inciso 2.4.2);

P_{pu}' resistencia especificada por perno para cargas paralelas a la fibra (tabla 8.3.1);

Q_{pu}' resistencia especificada por perno para cargas perpendiculares a la fibra (tabla 8.3.2);

n número de pernos en un grupo; y

F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.3.1).

8.3.3.2 Resistencia a cargas laterales y axiales combinadas

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 capaces de resistir dicha componente.

8.3.4 Requisitos particulares para pijas



8.3.4.1 Consideraciones generales

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 –Fornillos, birlos y sujetadores rosados externamente de acero aleado, templados y revenidos”.

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

8.3.4.2 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 el inciso 8.3.2.3 para pernos con un diámetro igual al diámetro de la caña de la pija en cuestión.

8.3.4.3 Penetración de las pijas

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 8.3.1 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 8.3.2 Valores de Qpu' 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
22,2	mayor que 290	11419	1164	14489	1477	13371	1363	9418	960	8486	865
	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
25,4	240	15421	1572	19581	1996	18060	1841	10997	1121	9074	925
	mayor que 290	15421	1572	19581	1996	18060	1841	12724	1297	10663	1087
	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

8.3.5 Resistencia de uniones con pijas

8.3.5.1 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 8.3.4 deberá ser igual o mayor que la carga de diseño.

$$P_{re} = F_R Y_e l_p n \quad (8.3.4)$$



donde:

$$Y_e = Y_e' J_h J_d J_{gp} \text{ (inciso 2.4.2);}$$

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:

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

Para latifoliadas:

Grupo I:

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

Grupo II:

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

Grupo III:

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

Grupo IV:

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

donde:

Y_e' = Resistencia especificada a la extracción de pijas en N/mm
D Diámetro de la pija en 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; y
 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.

8.3.5.2 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 8.3.3.

Tabla 8.3.3 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

$$P_{ru} = Fr A_l n Y_u \quad (8.3.5)$$

Para carga perpendicular a la fibra

$$Q_{ru} = P_{ru} J_n \quad (8.3.6)$$

Para carga a un ángulo ζ con respecto a la fibra

$$N_{ru} = \frac{P_{ru} \cos^2 \theta}{P_{ru} \sin^2 \theta + Q_{ru} \cos^2 \theta} \quad (8.3.7)$$

donde:

Y_u = $Y_u' J_n J_d J_{gp} J_g$ (inciso 2.4.2);

Y_u' = valor especificado (tabla 8.3.4);

J_n = factor de modificación por la carga perpendicular a la fibra (tabla 2.2.20);

A_l = superficie de apoyo de la pija, igual a $D1_p$;

n = número de pijas en un grupo; y

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

Tabla 8.3.4 Valores especificados de resistencia lateral para cargas paralelas a la fibra en pijas, Y_u' , MPa (kg/cm²)

	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} .

8.4 Uniones con placas dentadas o perforadas

8.4.1 Consideraciones generales

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.

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”.

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

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

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

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

8.4.2 Dimensionamiento

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

- 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.
- 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.

8.5 Uniones con bambú

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 8.5.1, 8.5.2 y 8.5.3. 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.

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.

8.5.1 Dimensionamiento

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.

9. EJECUCIÓN DE OBRAS

9.1 Consideraciones generales

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

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.

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

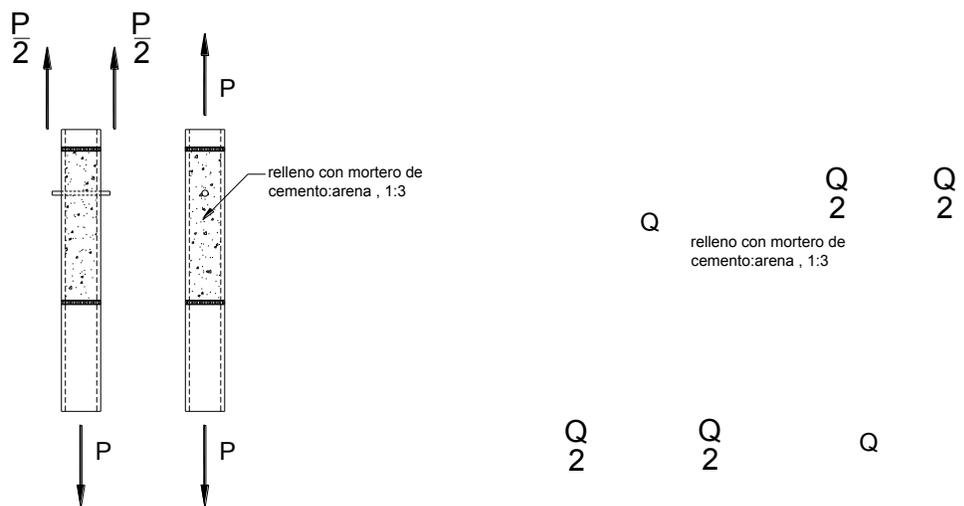
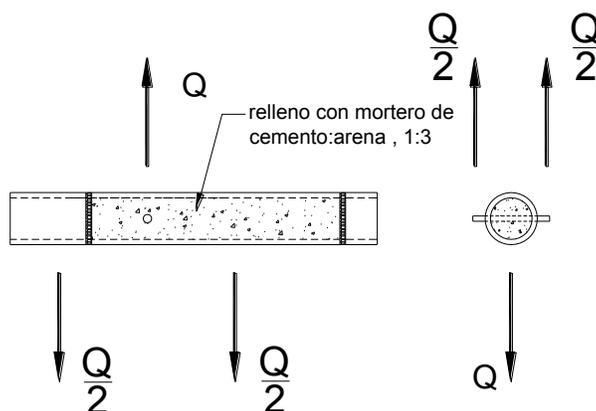


Figura 8.5.1 Unión de bambú con cargas a tensión paralelas a la fibra, tipo P.

relleno con mortero de
cemento:arena , 1:3

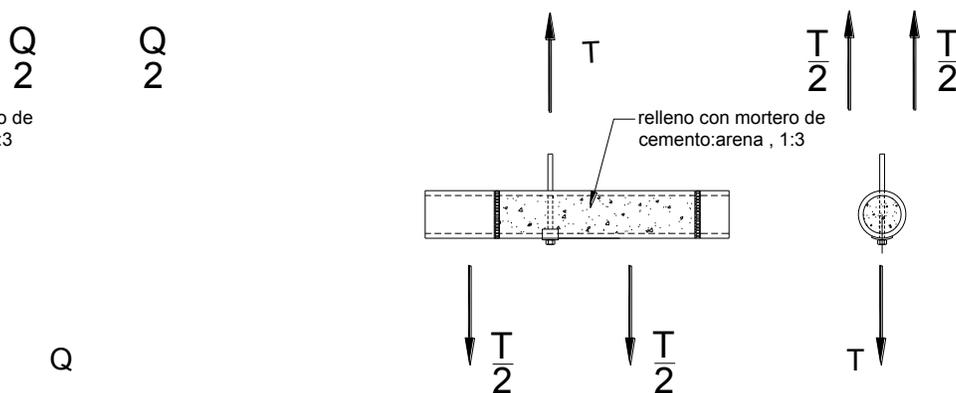


P

T
2

Figura 8.5.2 Unión de bambú con cargas a tensión perpendiculares a la fibra, tipo Q.

relleno con mortero de
cemento:arena , 1:3



Q

Figura 8.5.3 Unión de bambú con cargas a compresión perpendiculares a la fibra, tipo T.

9.2 Normas de calidad

La calidad de la madera de coníferas se regirá por la norma NMX-C-239-ONNCCE-2014 –“Clasificación y clasificación visual para madera de pino en usos estructurales”. Para madera de especies latifoliadas deberá utilizarse norma NMX-C-409-ONNCCE-1999 –“Clasificación visual para maderas latifoliadas de uso estructural”.

9.3 Contenido de humedad

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.

La tabla 9.3.1 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 la misma.

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 9.3.1 Contenido de humedad en equilibrio de la madera maciza de coníferas¹ 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

¹ 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.

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.

9.4 Protección a la madera

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 protegérseles ya sea por medio de tratamientos químicos, recubrimientos apropiados, o prácticas de diseño y construcción adecuadas.

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 ~~Preservadores para madera - Clasificación y requisitos~~.

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 ~~Madera Preservada a Presión - Clasificación y Requisitos~~.

9.5 Pendiente mínima de los techos

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.

9.6 Tolerancias

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 ~~Dimensiones de la madera aserrada para su uso en la construcción~~. 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.

9.7 Transporte y montaje

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.

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.

10. RESISTENCIA AL FUEGO

10.1 Medidas de protección contra fuego



10.1.1 Especificaciones de diseño en relación a protección contra el fuego en viviendas de madera

Las especificaciones de diseño relacionadas con esta sección, deberán tomar como base las indicaciones de la norma ISO 16732-1:2012: –Fire safety engineering - Fire risk assessment - Part 1: General”.

10.1.2 Determinación de la resistencia al fuego de los elementos constructivos

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 –Resistencia al fuego de elementos y componentes”.

10.1.3 Características de quemado superficial de los materiales de construcción

Las características de quemado superficial de los materiales utilizados como recubrimiento se deberán determinar de acuerdo a lo indicado en la norma ISO/TS 3814:2014 Standard tests for measuring reaction-to-fire of products and materials - Their development and application”.

10.2 Diseño de elementos estructurales y ejecución de uniones

10.2.1 Diseño de elementos estructurales aislados

En el diseño de elementos aislados deberá proporcionarse una resistencia mínima de 30 minutos a fuego, de acuerdo a lo especificado en la norma NMX-C-307-ONNCCE-2009 –Resistencia al fuego de elementos y componentes”, pudiendo emplearse métodos de tratamiento, recubrimientos, o considerando la reducción de sección de las piezas.

10.2.2 Ejecución de uniones

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.

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

A.1. Aplicación

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

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.

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.

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

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.

El cálculo de las propiedades de esta sección se realizó utilizando el siguiente procedimiento:



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

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

APÉNDICE B – CLASIFICACIÓN DEL BAMBÚ ESTRUCTURAL.

B.1. Alcance

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

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

- La edad del bambú estructural debe ser entre 4 y 6 años o la edad que aplique en particular para cada especie.
- Los culmos no deberán tener una desviación longitudinal (arqueamiento) mayor a 0.33 % de la longitud del elemento.
- Las piezas de bambú no deberán presentar una conicidad mayor a 1%.
- 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.
- La longitud total permisible de la grieta más larga no debe ser mayor del 30 %.
- 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.

APÉNDICE C – PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE VIGAS DE MADERA LAMINADA DE CONÍFERAS.



a) Propiedades de la sección por un metro de ancho cuando las chapas exteriores son paralelas al esfuerzo

Grosor nominal	Número de chapas	Grosor de las chapas			Grosor neto	Grosor efectivo	Área efectiva	Módulo de sección efectivo	Momento de inercia efectivo	Constante para cortante por flexión
		Chapas exteriores	Chapas transversales	Centros						
		T	t_p	A_1						
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² (cm ²)	mm ³ (cm ³)	mm ⁴ (cm ⁴)	mm ² (cm ²)	
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)



b) Propiedades de la sección por un metro de ancho cuando las chapas exteriores son perpendiculares al esfuerzo

Grosor nominal	Número 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 cortante por flexión
		Chapas exteriores	Chapas transversales	Centros						
		mm	mm	mm			mm	mm	mm	A_1 mm ² (cm ²)
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)



Tabla C.1 Propiedades geométricas de vigas de madera laminada¹

Clase estructural	Ancho b mm	Peralte d mm	No. láminas n	Secciones			
				d/b	Área A mm ² x10 ³	Módulo de sección S mm ³ x10 ³	Momento de Inercia Ix-xx mm ⁴ x10 ⁶
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.