

NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS
DE LA LEY DE EDIFICACIONES DEL ESTADO DE
BAJA CALIFORNIA, DE SEGURIDAD
ESTRUCTURAL EN MATERIA DE

“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE
ESTRUCTURAS DE MADERA”

2017

Normas Técnicas Complementarias de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California, de Seguridad Estructural en Materia de "Diseño y Construcción de Estructuras de Madera"

INDICE	364
DEFINICIONES	368
NOTACIÓN	370
1. CONSIDERACIONES GENERALES	374
1.1. Alcance	374
1.2. Unidades	374
1.3. Clasificación estructural	375
1.4. Dimensiones	375
1.5. Contenido de humedad	375
1.6. Anchos de cubierta a considerar para soporte de cargas concentradas	375
1.7. Cargas vivas concentradas para diseño de pisos de madera	375
2. PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO	376
2.1. Métodos de diseño	376
2.2. Valores especificados de resistencias y rigideces	376
2.3. Factores de resistencia	377
2.4. Valores modificados de resistencias y rigideces	378
2.4.1. Factores de modificación para madera maciza y madera contrachapada	378
2.4.2. Factores de modificación para uniones	379
2.5. Factor de comportamiento sísmico para estructuras de madera	381
2.6. Encharcamiento en techos planos	384
3. RESISTENCIAS DE DISEÑO DE MIEMBROS DE MADERA MACIZA	384
3.1. Miembros en tensión	384
3.2. Miembros bajo cargas transversales	385
3.2.1. Requisitos generales	385
3.2.1.1. Claro de cálculo	385
3.2.1.2. Recortes	385
3.2.2. Resistencia a flexión	385
3.2.3. Estabilidad lateral	385
3.2.3.1. Requisitos generales	385
3.2.3.2. Calculo del factor de estabilidad lateral, ϕ	385
3.2.4. Resistencia a cortante	387
3.2.4.1. Sección crítica	387
3.2.4.2. Resistencia a cortante de diseño	387
3.2.4.3. Factor de recorte, K_r	388
3.3. Miembros sujetos a combinaciones de momento y carga axial de compresión	388
3.3.1. Requisito general	388
3.3.2. Resistencia a carga axial	388
3.3.3. Efectos de esbeltez	389

3.3.3.1. Longitud sin soporte lateral	389
3.3.3.2. Longitud efectiva	389
3.3.3.3. Limitaciones	389
3.3.4. Formula de interacción para flexión uniaxial	390
3.3.5. Determinación del momento amplificado en miembros restringidos lateralmente	390
3.3.6. Momentos en los extremos	391
3.3.7. Momentos debidos a encorvadura	391
3.3.8. Formula de interacción para flexión biaxial	391
3.4. Miembros sujetos a combinaciones de momento y carga axial de tensión	391
3.4.1. Momento uniaxial y tensión	391
3.4.2. Momento biaxial y tensión	392
3.5. Compresión o aplastamiento actuando con un ángulo θ respecto a la fibra de la madera diferente de 0°	392
3.5.1. Resistencia a compresión perpendicular a la fibra ($\theta = 90^\circ$)	392
3.5.2. Efecto del tamaño de la superficie de apoyo	392
3.5.3. Cargas aplicadas a un ángulo θ con respecto a la dirección de la fibra	392
4. RESISTENCIA DE DISEÑO DE PLACAS DE MADERA CONTRACHAPADA	393
4.1. Requisitos del material	393
4.2. Orientación de los esfuerzos	393
4.3. Resistencia a carga axial	393
4.3.1. Resistencia a tensión	393
4.3.2. Resistencia a compresión	393
4.3.3. Resistencia a tensión o compresión a un ángulo θ con la fibra de las chapas exteriores	394
4.4. Placas en flexión	394
4.4.1. Flexión con cargas normales al plano de la placa	394
4.4.2. Flexión con cargas en el plano de la placa	394
4.5. Resistencia a cortante	395
4.5.1. Cortante en el plano de las chapas debido a flexión	395
4.5.2. Cortante a través del grosor	395
4.6. Aplastamiento	395
5. DEFLEXIONES	395
5.1. Madera maciza	396
5.2. Madera contrachapada	396
6. ELEMENTOS DE UNION	397
6.1. Consideraciones generales	397
6.1.1. Alcance	397
6.1.2. Resistencia a cortante	397
6.2. Clavos	397
6.2.1. Alcance	397
6.2.2. Configuración de uniones	397
6.2.3. Dimensionamiento de uniones clavadas con madera maciza	398

6.2.3.1. Resistencia lateral	398
6.2.3.2. Resistencia a extracción de clavos lanceros	398
6.2.4. Dimensionamiento de uniones clavadas con madera contrachapada	398
6.3. Pernos y pijas	398
6.3.1. Requisitos comunes	398
6.3.1.1. Contacto entre piezas unidas	398
6.3.1.2. Agujeros	399
6.3.1.3. Grupos de elementos de unión	399
6.3.1.4. Rondanas	401
6.3.2. Requisitos particulares para pernos	402
6.3.2.1. Consideraciones generales	402
6.3.2.2. Grosos efectivos de las piezas	402
6.3.2.3. Espaciamiento entre pernos	403
6.3.3. Resistencia de uniones con pernos	404
6.3.3.1. Resistencia lateral	404
6.3.3.2. Resistencia a cargas laterales y axiales combinadas	404
6.3.4. Requisitos particulares para pijas	407
6.3.4.1. Consideraciones generales	407
6.3.4.2. Colocación de las pijas en las uniones	407
6.3.4.3. Penetración de las pijas	407
6.3.5. Resistencia de uniones con pijas	408
6.3.5.1. Resistencia a la extracción	408
6.3.5.2. Resistencia lateral	408
6.4. Uniones con placas dentadas o perforadas	410
6.4.1. Consideraciones generales	410
6.4.2. Dimensionamiento	410
7. EJECUCION DE OBRAS	411
7.1. Consideraciones generales	411
7.2. Normas de calidad	411
7.3. Contenido de humedad	411
7.4. Protección a la madera	412
7.5. Pendiente mínima de los techos	413
7.6. Tolerancias	413
7.7. Transporte y montaje	413
8. RESISTENCIA AL FUEGO	413
8.1. Medidas de protección contra fuego	413
8.1.1. Agrupamiento y distancias mínimas en relación a protección contra el fuego en viviendas de madera	413
8.1.2. Determinación de la resistencia al fuego de los elementos constructivos	414
8.1.3. Características de quemado superficial de los materiales de construcción	414
8.2. Diseño de elementos estructurales y ejecución de uniones	414
8.2.1. Diseño de elementos estructurales aislados	414
8.2.2. Ejecución de uniones	414

9. PANELES ESTRUCTURALES	414
9.1. Introducción	414
9.2. Métodos de análisis y diseño	414
9.3. Resistencia lateral de los paneles de madera	415
9.4. Cálculo de la deformación lateral del panel	415
10. REFERENCIAS	416
APENDICE A	418
A.1 Aplicación	418
A.2 Propiedades de la sección	418

Normas Técnicas Complementarias de la Ley de Edificaciones del Estado de Baja California, de Seguridad Estructural en Materia de “Diseño y Construcción de Estructuras de Madera”

DEFINICIONES

Columnas o postes

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

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 expresada como un porcentaje del peso de la madera anhidra.

Contenido de humedad en equilibrio

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

Cubierta

Duelas, tablas o placas de madera contrachapada que forman parte de sistemas de piso o techo y se apoyan sobre elementos de madera poco espaciados.

Chapa

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

Factor de modificación de resistencia

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

Factor de resistencia

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

Fibra

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

Forro

Sinónimo de cubierta.

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 clasificada de acuerdo con la Norma Mexicana correspondiente: para madera de coníferas se aplica la norma NMX-C-239 y para el caso de madera de latifoliadas, la norma NMX-C-409-ONNCCE.

Madera contrachapada

Placa compuesta de un conjunto de chapas o capas de madera unidas con adhesivo, generalmente en número i r, en la cual las chapas adyacentes se colocan con la dirección de la fibra perpendicular entre sí.

Madera húmeda

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

Madera seca

Madera aserrada con un contenido de humedad igual o menor que 18 por ciento.

Peso específico (Densidad)

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

Peso específico básico (Densidad relativa o básica)

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

Pies derechos

Piezas ligeras de sección rectangular que generalmente forman parte de sistemas de muros.

Orientación de las fibras

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

Sistema de carga compartida

Construcción compuesta de tres o más miembros esencialmente paralelos espaciados 610 mm o menos, de centro a centro, de tal manera arreglados o conectados que corten 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 810 mm y unidos con 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 de madera 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 ligeros 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.

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_l superficie de apoyo de la pija igual a $D l_p$, 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_k factor de esbeltez crítico (sección 3.2.3.2)

C_m factor de corrección por condición de apoyo para la determinación del momento amplificado (sección 3.3.5)

C_s factor de esbeltez (sección 3.2.3.2)

D diámetro del conector, mm (cm)

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 (sección 6.1.2), mm (cm)

d_r profundidad del recorte (sección 3.2.4.3), mm (cm)

$E_{0.05}$ módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil, (kg/cm²)

$E_{0.50}$ módulo de elasticidad promedio, (kg/cm²)

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 (sección 3.2.4.3), mm (cm)

F_R factor de resistencia

f_{cu} valor modificado de esfuerzo en compresión paralela a la fibra, (kg/cm²)

f_{cu}' valor especificado de esfuerzo en compresión paralelo a la fibra, (kg/cm²)

f_{fu} valor modificado de esfuerzo en flexión, (kg/cm²)

f_{fu}' valor especificado de esfuerzo en flexión, (kg/cm²)

f_{nu} valor modificado de esfuerzo en compresión perpendicular a la fibra, (kg/cm²)

f_{nu}' valor especificado de esfuerzo en compresión perpendicular a la fibra, (kg/cm²)

f_{ru} valor modificado de esfuerzo cortante en el plano de las chapas, (kg/cm²)

f_{ru}' valor especificado de esfuerzo cortante en el plano de las chapas, (kg/cm²)

f_{tu} valor modificado de esfuerzo en tensión paralela a la fibra, (kg/cm²)

f_{tu}' valor especificado de esfuerzo en tensión paralelo a la fibra, (kg/cm²)

f_{vgu} valor modificado de esfuerzo cortante a través del grosor, (kg/cm²)

f_{vgu}' valor especificado de esfuerzo cortante a través del grosor, (kg/cm²)

f_{vu} valor modificado de esfuerzo cortante paralelo a la fibra, (kg/cm²)

f_{vu}' valor especificado de esfuerzo cortante paralelo a la fibra, (kg/cm²)

$G_{0.50}$ módulo de rigidez promedio, (kg/cm²)

I momento de inercia de la sección, mm⁴ (cm⁴)

I_1 momento de inercia efectivo en la dirección considerada, mm⁴ (cm⁴)

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_m factor de modificación por momento en los apoyos de las armaduras
 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
 K_{cl} factor de modificación por clasificación para madera maciza de coníferas
 K_d factor de modificación por duración de carga para dimensionamiento de secciones
 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 (sección 3.3.3.2)
 L longitud del claro, 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, (kg-cm)
 M_c momento amplificado que corresponde a la carga axial actuando conjuntamente con M_o , (kg-cm)
 M_o máximo momento sin amplificar que actúa sobre el miembro, (kg-cm)
 M_P resistencia a flexión de diseño por cargas perpendiculares al plano de una placa de madera contrachapada, (kg-cm)
 M_Q resistencia de diseño de una placa de madera contrachapada sujeta a flexión por cargas en su plano, (kg-cm)
 M_R resistencia de diseño de miembros sujetos a flexión, (kg-cm)
 M_u momento último actuante de diseño en miembros sujetos a cargas transversales, (kg-cm)
 M_{xR} resistencia de diseño a momento respecto al eje X, (kg-cm)
 M_{xu} momento último actuante de diseño respecto al eje X, (kg-cm)
 M_{xua} momento amplificado respecto al eje X, (kg-cm)
 M_{yR} resistencia de diseño a momento respecto al eje Y, (kg-cm)
 M_{yu} momento último actuante de diseño respecto al eje Y, (kg-cm)
 M_{yua} momento amplificado respecto al eje Y, (kg-cm)

- N_R resistencia de diseño de miembros sujetos a compresión perpendicular a la fibra o normal al plano de placas contrachapadas, (kg)
- N_{ru} resistencia lateral de diseño de una unión, (kg)
- $N_{R\theta}$ resistencia a compresión de diseño sobre un plano con un ángulo θ respecto a las fibras, (kg)
- N_u resistencia lateral modificada por elemento de unión, (kg)
- N_u' resistencia lateral especificada por elemento de unión, (kg)
- n número de elementos de unión
- n_p número de planos de cortante
- P_{cr} carga crítica de pandeo (sección 3.3.5), (kg)
- P_{pu} resistencia lateral modificada por elemento de unión para cargas paralelas a la fibra, (kg)
- P_{pu}' resistencia especificada por elemento de unión para cargas paralelas a la fibra, (kg)
- P_R resistencia a compresión de diseño de un elemento, (kg)
- P_{re} resistencia a la extracción de diseño de un grupo de pijas hincadas perpendicularmente a la fibra (sección 6.3.5.1), (kg)
- P_{ru} resistencia lateral de diseño de una unión para cargas paralelas a la fibra, (kg)
- P_u carga axial última de diseño que actúa sobre un elemento, (kg)
- Q factor de comportamiento sísmico
- Q_{pu} resistencia modificada por elemento de unión para cargas perpendiculares a la fibra, (kg)
- Q_{pu}' resistencia especificada por elemento de unión para cargas perpendiculares a la fibra, (kg)
- Q_{ru} resistencia lateral de diseño para cargas perpendiculares a la fibra, (kg)
- r radio de giro mínimo de la sección, mm (cm)
- S módulo de sección, mm³ (cm³)
- S_1 módulo de sección efectivo en la dirección considerada, mm³ (cm³)
- T_R resistencia de diseño a tensión de un miembro, (kg)
- T_u carga de tensión última actuando sobre el elemento, (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_o grosor de la rondana, mm (cm)
- V_R resistencia a cortante de diseño, (kg)
- V_{R1} resistencia a cortante de diseño en el plano de las chapas para madera contrachapada sujeta a flexión, (kg)
- V_{R2} resistencia a cortante de diseño a través del grosor en placas de madera contrachapada, (kg)
- Y_e resistencia en extracción modificada para pijas, (kg/cm²)
- Y_e' resistencia en extracción especificada para pijas, (kg/cm²)
- Y_u resistencia lateral modificada para cargas paralelas a la fibra en pijas, (kg/cm²)

- Y_u' resistencia lateral especificada para cargas paralelas a la fibra en pijas, (kg/cm²)
- γ densidad relativa igual a peso anhidro / volumen verde
- δ factor de amplificación de momentos en elementos a flexocompresión
- θ ángulo formado entre la dirección de la carga y la dirección de la fibra
- ϕ factor de estabilidad lateral en vigas (sección 3.2.3)

1. CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 Alcance

Estas disposiciones son aplicables a elementos estructurales de madera aserrada de cualquier especie, cuya densidad relativa promedio, γ , sea igual o superior a 0.35, y a elementos estructurales de madera contrachapada.

Para efectos de las presentes Normas, las maderas usuales en la construcción se clasifican en coníferas y latifoliadas. Las latifoliadas se subdividen en los cuatro grupos siguientes de acuerdo con los valores de su módulo de elasticidad correspondiente al quinto percentil, $E_{0.05}$ para madera seca, cuyo contenido de humedad es igual o menor que 18 por ciento.

Tabla 1.1 Grupos de maderas latifoliadas

	Intervalo de valores de $E_{0.05}$
	(kg/cm ²)
Grupo I	(mayor que 120 000)
Grupo II	(90 000 a 119 000)
Grupo III	(75 000 a 89 000)
Grupo IV	(45 000 a 74 000)

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

Los proyectos de elementos estructurales a base de madera no cubiertos por estas Normas, tales como la madera laminada encolada y los diversos tipos de tableros (con excepción de los de madera contrachapada) podrán ser realizados con el uso de normas internacionales reconocidas.

1.2 Unidades

Las disposiciones de estas Normas se presentan en unidades en sistema métrico (cuyas unidades básicas son metro, kilogramo fuerza y segundo).

1.3 Clasificación estructural

Para que sean aplicables los valores de diseño propuestos en estas Normas, las maderas de coníferas deberán clasificarse de acuerdo con la norma NMX-C-239 (ref. 1) “Calificación y clasificación visual para madera de pino en usos estructurales”, la cual establece dos clases de madera estructural, A y B. Las maderas de latifoliadas deberán clasificarse de acuerdo con la norma MNX-C-409-ONNCCE (ref. 2).

1.4 Dimensiones

Para efectos de dimensionamiento se utilizarán con preferencia las secciones especificadas en la norma NMX-C-224-ONNCCE (ref. 3) “Dimensiones de la madera aserrada para su uso en la construcción”. Para piezas con dimensiones mayores que las cubiertas en la norma citada y, en general, para secciones que no se ajusten a ellas deberá 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 seca a la que tiene un contenido de humedad igual o menor que 18 por ciento, y húmeda, a aquella cuyo contenido de humedad es superior a dicho valor. El valor máximo admisible se limita a 50 por ciento.

1.6 Anchos de cubierta a considerar para soporte de cargas concentradas

Para el diseño de cubiertas se considerarán como anchos, b , de la sección que soporta las cargas vivas concentradas indicadas en la sección 1.7, los valores de la tabla 1.2, tanto para el cálculo de resistencia como de deflexión.

Tabla 1.2 Anchos, b , para soporte de cargas concentradas en cubiertas

Condición	b
Duelas a tope ¹	Ancho de una duela
Duelas machihembradas ²	$2 \times$ ancho de una duela + 150 mm, pero no más de 450 mm
Madera contrachapada ³	610 mm

¹ Grosor mínimo 19 mm;

² Grosor mínimo 13 mm;

³ Grosor mínimo 9 mm.

1.7 Cargas vivas concentradas para diseño de pisos de madera

Para el diseño de pisos ligeros de madera se deberán tomar en consideración las disposiciones señaladas las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

2. PRINCIPIOS GENERALES DE DISEÑO

2.1 Métodos de diseño

El diseño de elementos de madera y de los dispositivos de unión requeridos para formar estructuras se llevará a cabo según los criterios de estados límite establecidos en las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, que fija los requisitos que deben satisfacerse en cuanto a seguridad y comportamiento en condiciones de servicio.

El diseño podrá efectuarse por medio de procedimientos analíticos o experimentales.

Para efectos de diseño se especificarán las propiedades mecánicas según la dirección paralela o perpendicular a la fibra.

Las especies para el diseño son las registradas de acuerdo al agrupamiento de maderas para uso estructural de la norma

En el diseño por métodos analíticos las acciones internas se determinarán considerando que los elementos estructurales y las estructuras tienen un comportamiento lineal elástico.

2.2 Valores especificados de resistencias y rigideces

La tabla 2.1 proporciona valores especificados de resistencia y rigidez para madera de coníferas, para las clases estructurales A y B. La tabla 2.2 contiene valores especificados para los cuatro grupos de maderas de latifoliadas. La tabla 2.3 contiene valores especificados de resistencia y rigidez para madera contrachapada de especies de coníferas. Los valores de las tablas corresponden a condición seca.

Tabla 2.1 Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de maderas de especies coníferas, (kg/cm²)

		Clase	
		A	B
Flexión	f_{tu}'	170	100
Tensión paralela a la fibra	f_{tu}'	115	70
Compresión paralela a la fibra	f_{cu}'	120	95
Compresión perpendicular a la fibra	f_{nu}'	40	40
Cortante paralelo a la fibra	f_{vu}'	15	15
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	100 000	80 000
Módulo de elasticidad correspondiente al 5º percentil	$E_{0.05}$	65 000	50 000

Tabla 2.2 Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de maderas de especies latifoliadas, (kg/cm²)

		Grupo			
		I	II	III	IV
Flexión	f_{tu}'	310	230	160	80
Tensión paralela a la fibra	f_{tu}'	205	160	110	55
Compresión paralela a la fibra	f_{cu}'	225	170	125	60
Compresión perpendicular a la fibra	f_{nu}'	75	55	40	20
Cortante paralelo a la fibra	f_{vu}'	25	20	15	10
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	170 000	120 000	90 000	70 000
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil	$E_{0.05}$	120 000	90 000	75 000	45 000

Tabla 2.3 Valores especificados de resistencias, módulo de elasticidad y módulo de rigidez de madera contrachapada de especies coníferas, (kg/cm²)

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

2.3 Factores de resistencia

La tabla 2.4 indica los factores de resistencia, F_R , para madera maciza y madera contrachapada. Los factores de resistencia correspondientes a las uniones en estructuras de madera se tomarán igual a 0.7 en todos los casos.

Tabla 2.4 Factores de resistencia para madera maciza y madera contrachapada, F_R

Acción	Producto	
	Madera maciza	Madera contrachapada
Flexión	0.8	0.8
Tensión paralela	0.7	0.7
Compresión paralela y en el plano de las chapas	0.7	0.7
Compresión perpendicular	0.9	0.9
Cortante paralelo, a través del espesor y en el plano de las chapas	0.7	0.7

2.4 Valores modificados de resistencias y rigideces

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

2.4.1 Factores de modificación para madera maciza y madera contrachapada

K_h factor por contenido de humedad (tabla 2.5).

K_d factor por duración de carga (tabla 2.6).

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 2.7). Aplicable a secciones que tengan un peralte d , menor o igual a 140mm.

K_{cl} factor por clasificación (madera maciza de coníferas únicamente) (tabla 2.8).

K_v factor por condición de apoyo o compartición de carga en cortante (sección 3.2.4.2).

K_r factor por recorte (sección 3.2.4.3).

K_a factor por tamaño de la superficie de apoyo (tabla 2.9).

Tabla 2.5 Factores de modificación por contenido de humedad, K_h (aplicables cuando CHÍ 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	
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

2.4.2 Factores de modificación para uniones

J_h factor por contenido de humedad (tabla 2.10).

J_g factor por hilera de elementos para pernos y pijas (tabla 2.11).

J_d factor por duración de carga (tabla 2.12).

J_{gp} factor por grosor de piezas laterales en pernos y pijas (tabla 2.13).

J_{di} factor para clavos para diafragmas igual a 1.3.

J_{gc} factor por grosor de piezas laterales en clavos (tabla 2.14).

J_a factor para clavos lanceros (tabla 2.15).

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 2.16).

J_{dp} factor por doblado de la punta en clavos (tabla 2.17).

Tabla 2.6 Factores de modificación por duración de carga (aplicables para madera maciza y madera contrachapada)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 i cto	1.60

¹ No son aplicables a los módulos de elasticidad.

Tabla 2.7 Factores de modificación por peralte, K_p , aplicables a secciones que tengan un peralte, $d/2 \geq 140$ 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 2.8 Factores de modificación por clasificación para madera maciza de coníferas¹, K_{c1}

Regla de clasificación (Según NMX-C-239)	K_{c1}
a) Para valores especificados de resistencia	
Regla general ²	0.80
Reglas especiales ³	1.00
Regla industrial ⁴	1.25
b) Para valores de módulo de elasticidad	
Regla general ²	0.90
Reglas especiales ³	1.00
Regla industrial ⁴	1.15

¹ Usar siempre $K_{c1} = 1.0$ para madera de latifoliadas;

² Aplicable a cualquier sección transversal especificada en la ref. 3;

³ Aplicables a secciones transversales particulares: todas las de 38 mm de grosor y las de 87×87 mm y 87×190 mm, únicamente cuando se utilicen de canto;

⁴ Aplicable a secciones transversales de 38 mm de grosor únicamente cuando se utilicen de canto.

Tabla 2.9 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.

2.5 Factor de comportamiento sísmico para estructuras de madera

De acuerdo con el Capítulo 5 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:

- $Q = 3.0$ para diafragmas construido con madera contrachapada, diseñados de acuerdo con lo indicado en los Capítulos 4 y 6 de estas Normas;
- $Q = 2.0$ para diafragmas construido con duelas inclinadas y para sistemas de muros formados por duelas de madera horizontales o verticales combinadas con elementos diagonales de madera maciza; y
- $Q = 1.5$ para marcos y armaduras de madera maciza.

Tabla 2.10 Factor de modificación por contenido de humedad en uniones, J_h

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

Tabla 2.11 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 Interpolar 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 2.12 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 i cto	1.60

Tabla 2.13 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 2.14 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 la longitud del clavo.

Tabla 2.15 Factor de modificación para clavos lanceros, J_a

Condición de carga	J_a
Clavo lancero	0.80
Clavo normal	1.00

Tabla 2.16 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 2.17 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.

Para estructuras de madera del grupo B podrá utilizarse el método simplificado de análisis indicado en el Capítulo 7 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo con los coeficientes sísmicos reducidos de la tabla 7.1 tomando los valores correspondientes a muros de piezas macizas para los diafragmas construidos con madera contrachapada y los correspondientes a muros de piezas huecas para los diafragmas construidos con duelas inclinadas y para los sistemas de muros formados por duelas de madera horizontales o verticales combinadas con elementos diagonales de madera maciza. Para el caso de marcos y armaduras de madera maciza, deberá utilizarse el análisis estático (Capítulo 8 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo).

2.6 Encharcamiento en techos planos

Cada porción del techo deberá diseñarse para sostener el peso del agua de lluvia que pudiera acumularse sobre ella si el sistema de drenaje estuviera bloqueado.

3. RESISTENCIAS DE DISEÑO DE MIEMBROS DE MADERA MACIZA

3.1 Miembros en tensión

La resistencia de diseño, T_R , de miembros sujetos a tensión paralela a la fibra se obtendrá por medio de la expresión

$$T_R = F_R f_{tu} A_n \quad (3.1)$$

donde

$$f_{tu} = f_{tu}' K_n K_d K_c K_p K_{cl}; \text{ (secciones 2.4 y 2.4.1);}$$

A_n área neta; y

F_R factor de resistencia que se tomará igual a 0.7 (tabla 2.4).

El área neta se define como la que resulta de deducir de la sección bruta el área proyectada del material eliminado para taladros o para otros fines. En miembros con taladros en tresbolillo para pernos o pijas se considerarán en la sección crítica analizada los taladros 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

Para vigas simplemente apoyadas el claro de cálculo se tomará 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 la sección 3.5.1. En vigas continuas, el claro de cálculo se medirá 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.

3.2.2 Resistencia a flexión

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

$$M_R = F_R f_{fu} S \phi \quad (3.2)$$

donde

$f_{fu} = f_{fu}' K_h K_d K_c K_p K_{cl}$ (secciones 2.4 y 2.4.1);

S módulo de sección;

ϕ factor de estabilidad lateral según la sección 3.2.3; y

F_R se tomará igual a 0.8 (tabla 2.4).

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 , podrá 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 deberá 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 determinará de acuerdo con la sección 3.2.3.2, excepto en los casos en que se cumplan las condiciones dadas en la tabla 3.1, 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 flexocompresión.

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 tomará como la distancia centro a centro entre apoyos; en voladizos, se tomará 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 tomará 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 podrá tomarse igual a cero. Para poder considerar que la cubierta proporciona suficiente restricción lateral deberá estar firmemente unida a la viga y a los miembros periféricos de manera que se forme un diafragma rígido.

Tabla 3.1 Relaciones d/b máximas admisibles para las cuales puede tomarse $w= 1$

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 arrostramiento lateral a distancias no superiores a $8d$	7.5
e) Cuando la cara de compresión como la de tensión se mantenga eficazmente soportada lateralmente	9.0

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.

b) Factor de esbeltez, C_s

El factor de esbeltez, C_s , se determinará con la expresión

$$C_s = \sqrt{\frac{L_u d}{b^2}} \quad (3.3)$$

c) Determinación del factor de estabilidad lateral, ϕ

El valor del factor de estabilidad lateral, ϕ , se determinará como sigue:

- 1) Cuando $C_s \leq 6$, el valor de ϕ se tomará igual a la unidad.
- 2) Cuando $6 < C_s \leq C_k$, el valor de ϕ se determinará con la expresión

$$\phi = 1 - 0.3 \left(\frac{C_s}{C_k} \right)^4 \quad (3.4)$$

donde

$$C_k = \sqrt{\frac{E_{0.05}}{f_{fu}}} \quad (3.5)$$

- 3) Cuando $C_s > C_k$ el valor de ϕ se determinará con la expresión

$$\phi = 0.7 \left(\frac{C_k}{C_s} \right)^2 \quad (3.6)$$

No se admitirán vigas cuyo factor de esbeltez, C_s , sea superior a 30.

3.2.4 Resistencia a cortante

3.2.4.1 Sección crítica

La sección crítica para cortante de vigas se tomará 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 obtendrá por medio de la expresión

$$V_R = \frac{F_R f_{vu} b d}{1.5} \quad (3.7)$$

donde

$f_{vu} = f_{vu}' K_h K_d K_c K_r K_v$ (secciones 2.4 y 2.4.1); y

F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.4).

Podrá 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 $K_v = 1.0$.

3.2.4.3 Factor de recorte, K_r

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

a) Recorte en el apoyo en la cara de tensión

$$K_r = \left(1 - \frac{d_r}{d}\right)^2 \quad (3.8)$$

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

$$K_r = 1 - \frac{d_r}{d} \quad (3.9)$$

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

$$K_r = 1 - \frac{d_r e_r}{d(d - d_r)} \quad (3.10)$$

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

3.3.1 Requisito general

Toda columna deberá dimensionarse como miembro sujeto a flexocompresión independientemente de que el análisis no haya indicado la presencia de momento.

3.3.2 Resistencia a carga axial

La resistencia a compresión de diseño, P_R , que deberá usarse en las fórmulas de interacción de las secciones 3.3.4 y 3.4.2 se obtendrá por medio de la expresión

$$P_R = F_R f_{cu} A \quad (3.11)$$

donde

$f_{cu} = f_{cu}' K_h K_d K_c K_p K_{cl}$ (secciones 2.4 y 2.4.1);

A área de la sección; y

F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.4).

3.3.3 Efectos de esbeltez

Los efectos de esbeltez se tomarán en cuenta a través de la amplificación de momentos de acuerdo con lo previsto en la sección 3.3.5. En el caso de columnas compuestas de dos o más elementos, la esbeltez se considerará de manera independiente para cada elemento a no ser que se prevea un dispositivo que una los extremos de los elementos rígidamente y espaciadores adecuados.

3.3.3.1 Longitud sin soporte lateral

La longitud sin soporte lateral, L_u , de miembros bajo compresión se tomará 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 deberá 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 dimensionarán considerando una longitud efectiva, $L_e = k L_u$. Para miembros bajo compresión arriostrados contra desplazamientos laterales se tomará $k=1.0$, salvo que se justifique un valor menor. Para miembros en compresión sin arriostramiento contra desplazamientos laterales, k se determinará por medio de un análisis.

3.3.3.3 Limitaciones

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

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

Donde r es el radio de giro mínimo de la sección.

b) Para miembros arriostrados, los efectos de esbeltez podrán 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 Fórmula de interacción para flexión uniaxial

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

$$\frac{P_u}{P_R} + \frac{M_c}{M_R} \leq 1 \quad (3.12)$$

donde

M_c momento amplificado que se aplicará para diseño con la carga axial P_u ; y

P_u carga axial última de diseño que actúa sobre el elemento y es igual a la carga de servicio multiplicada por el factor de carga apropiado.

3.3.5 Determinación del momento amplificado en miembros restringidos lateralmente

El valor de M_c se determinará por medio del siguiente procedimiento:

$$M_c = \delta M_o \geq M_2 \quad (3.13)$$

donde

M_o máximo momento sin amplificar que actúa sobre el miembro en compresión y es igual al momento de servicio multiplicado por el factor de carga apropiado; y

$$= \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_{cr}}} \quad (3.14)$$

El valor de la carga crítica de pandeo P_{cr} se obtendrá con la expresión

$$P_{cr} = F_R \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{(k L_u)^2} K_p K_{cl} \quad (3.15)$$

donde

F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.4).

Para miembros restringidos contra el desplazamiento lateral y sin cargas transversales entre apoyos, el valor de C_m podrá tomarse igual a

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \quad (3.16)$$

donde M_1 y M_2 tienen el mismo significado que en la sección 3.3.3.3.

Para otros casos tómese $C_m = 1.0$.

3.3.6 Momentos en los extremos

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

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

3.3.7 Momentos debidos a encorvadura

Todos los miembros bajo compresión deberán dimensionarse para una excentricidad

$$e_b = \frac{L_u}{300} \quad (3.17)$$

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

3.3.8 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 amplificará 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

$$\frac{P_u}{P_R} + \frac{M_{xua}}{M_{xR}} + \frac{M_{yua}}{M_{yR}} \leq 1 \quad (3.18)$$

donde

M_{xua} momento amplificado de diseño respecto al eje X;

M_{yua} momento amplificado 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

3.4 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 deberán satisfacer la siguiente condición

$$\frac{T_u}{T_R} + \frac{M_u}{M_R} \leq 1 \quad (3.19)$$

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 deberán satisfacer la siguiente condición

$$\frac{T_u}{T_R} + \frac{M_{xu}}{M_{xR}} + \frac{M_{yu}}{M_{yR}} \leq 1 \quad (3.20)$$

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 α respecto a la fibra de la madera diferente de 0°

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

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

$$N_R = F_R f_{nu} A_a \quad (3.21)$$

donde

$f_{nu} = f_{nu}' K_h K_d K_c K_a$ (secciones 2.4 y 2.4.1);

A_a área de la superficie de apoyo; y

F_R se tomará igual a 0.9 (tabla 2.4).

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 podrá modificarse con el factor K_a de la tabla 2.9 (sección 2.4.1).

3.5.3 Cargas aplicadas a un ángulo α 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 obtendrá por medio de la siguiente expresión

$$N_R = F_R \frac{f_{cu} f_{nu}}{f_{cu} \sin^2 \theta + f_{nu} \cos^2 \theta} \quad (3.22)$$

Donde F_R se tomará igual a 0.9.

4. RESISTENCIA DE DISEÑO DE PLACAS DE MADERA CONTRACHAPADA

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-326 (ref. 4) "Madera Contrachapada de Pino".

Las propiedades de resistencia y rigidez de estos productos, deberán ser determinadas experimentalmente para el tipo de acción a que vayan a estar sometidos en la estructura y su comportamiento estructural deberá 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 ref. 4 (exterior a prueba de agua) y la calidad de las chapas exteriores deberá ser C o D de acuerdo con esa misma referencia.

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 deberán 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 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

$$T_R = F_R f_{tu} A_1 \quad (4.1)$$

donde

$f_{tu} = f_{tu}' K_h K_d$ (secciones 2.4 y 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 2.4).

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

$$P_R = F_R f_{cu} A_1 \quad (4.2)$$

donde

$f_{cu} = f_{cu}' K_h K_d$ (secciones 2.4 y 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 2.4).

4.3.3 Resistencia a tensión o compresión a un ángulo α 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 2.3. 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

$$M_p = F_R f_{tu} S_1 \quad (4.3)$$

donde

$f_{tu} = f_{tu}' K_h K_d$ (secciones 2.4 y 2.4.1);

S_1 módulo de sección efectivo de la placa (Apéndice A); y

F_R se tomará igual a 0.9 (tabla 2.4).

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

$$M_Q = F_R f_{tu} \frac{t_p d^2}{6} \quad (4.4)$$

donde

$f_{tu} = f_{tu}' K_h K_d$ (secciones 2.4 y 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 2.4).

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

$$V_{R1} = F_R \frac{I b}{Q} f_{ru} \quad (4.5)$$

donde

$f_{ru} = f_{ru}' K_h K_d$ (secciones 2.4 y 2.4.1);

$\frac{I b}{Q}$ constante para cortante por flexión (Apéndice A); y

F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.4).

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

$$V_{R2} = F_R f_{vgu} A \quad (4.6)$$

donde

$f_{vgu} = f_{vgu}' K_h K_d$ (secciones 2.4 y 2.4.1);

A área total de la sección transversal de la placa; y

F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.4).

4.6 Aplastamiento

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

$$N_R = F_R f_{nu} A_a \quad (4.7)$$

donde

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

A_a área de la superficie de apoyo; y

F_R se tomará igual a 0.9 (tabla 2.4).

5. 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).

5.1 Madera maciza

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

5.2 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 2.3 puede ser usado para todos las calidades de madera contrachapada de pino que cumplan con los requisitos de la sección 4.1. El mismo valor es aplicable independientemente de la dirección de la fibra en las chapas exteriores.

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.

6. ELEMENTOS DE UNIÓN

6.1 Consideraciones generales

6.1.1 Alcance

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

6.1.2 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 la sección 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.

6.2 Clavos

6.2.1 Alcance

Los valores de resistencia dados en esta sección son aplicables únicamente a clavos de caña lisa que se ajusten a la norma NMX-H-64 "Clavos cilíndricos" (ref. 5).

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

6.2.2 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} .

6.2.3 Dimensionamiento de uniones clavadas con madera maciza

La resistencia lateral de diseño de clavos hincados perpendicularmente a la fibra deberá calcularse de acuerdo con la sección 6.2.3.1.

La resistencia a la extracción de clavos se considerará nula en todos los casos, exceptuando lo indicado en la sección 6.2.3.2.

6.2.3.1 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

$$N_{ru} = F_R N_u n \quad (6.1)$$

Donde

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

N_u' valor especificado de resistencia por clavo (tabla 6.1);

n número de clavos; y

F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.4).

6.2.3.2 Resistencia a extracción de clavos lanceros

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

$$T_R = 0.10 N_{ru} \quad (6.2)$$

donde

N_{ru} deberá ser calculada de acuerdo con la sección 6.2.4.

6.2.4 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 la sección 6.2.3.1 utilizando el valor de N_u' especificado en la tabla 6.2.

6.3 Pernos y pijas

6.3.1 Requisitos comunes

6.3.1.1 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.

6.3.1.2 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.

6.3.1.3 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.

Tabla 6.1 Resistencia lateral especificada para clavos de alambre, N_u'

a) Estilo delgado (comunes)							
Longitud, l		Diámetro, D	N_u' , kg				
			Coníferas	Latifoliadas			
mm	pulg.	mm		Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
38	1 ½	2.0	24	36	32	30	19
45	1 ¾	2.3	25	46	41	38	25
51	2	2.7	35	63	57	52	35
64	2 ½	3.1	48	83	75	67	45
76	3	3.4	60	100	90	79	53
89	3 ½	3.8	76	125	113	96	64
102	4	4.5	107	175	158	129	86
114	4 ½	4.5	107	175	158	129	86
127	5	4.9	127	207	183	150	100
140	5 ½	4.9	127	207	183	150	100
152	6	5.3	149	242	210	172	115
b Estilo grueso americano							
38	1 ½	2.2	28	42	38	35	22
45	1 ¾	2.7	40	63	57	52	32
51	2	3.1	51	83	75	67	43
64	2 ½	3.4	60	100	90	79	53
76	3	3.8	73	125	113	96	64
89	3 ½	4.1	83	145	131	110	73
102	4	4.9	113	207	183	150	100
114	4 ½	5.3	130	242	210	172	115
127	5	5.7	148	280	239	195	130
140	5 ½	6.2	171	332	277	226	151
152	6	6.7	196	387	317	259	173
178	7	7.2	222	447	359	294	196
203	8	7.8	256	525	413	338	225

Tabla 6.2 Resistencia lateral especificada para uniones con piezas laterales de madera contrachapada, N_u'

Grosor del contrachapado mm	Longitud del clavo, l mm pulg.		N_u' kg
a) Clavo de alambre estilo delgado (comunes)			
9	51	2	40
13, 16	64	2 ½	50
19, 21	76	3	60
b) Clavo de alambre estilo grueso (americano)			
9	51	2	45
13, 16	64	2 ½	55
19, 21	76	3	65

Una hilera de elementos de unión está constituida por:

- a) Uno o más pernos del mismo diámetro, bajo cortante simple o múltiple, colocados paralelamente a la dirección de la carga; o
- b) 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 tresbolillo y la separación entre hileras adyacentes sea menor que la cuarta parte de la distancia entre los elementos más próximos de hileras adyacentes, medida paralelamente a las hileras, las hileras adyacentes se considerarán como una sola hilera en relación con la determinación de la resistencia del grupo. Para grupos con un número par de hileras, esta regla se aplicará a cada pareja de hileras. Para grupos con un número non de hileras, se aplicará el criterio que resulte más conservador.

6.3.1.4 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 6.3. 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.

6.3.2 Requisitos particulares para pernos

6.3.2.1 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 “Tornillos con cabeza hexagonal” ref. 6).

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 1mm.

6.3.2.2 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.

Tabla 6.3 Dimensiones mínimas de rondanas para uniones con pernos y pijas

Tipo de rondana	Uso	Diámetro del perno o pija D, mm	Diámetro o lado de la rondana D _o , mm	Grosor t _o , 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

b) Piezas laterales metálicas

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

6.3.2.3 Espaciamiento entre pernos

a) Espaciamiento entre pernos de una hilera

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

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

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.
- 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.
- 3) No deberá usarse una pieza de e lme única cuando la separación entre hileras de pernos paralelas a la dirección de la fibra sea superior a 125mm.

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

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.

6.3.3 Resistencia de uniones con pernos

6.3.3.1 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:

Para carga paralela a la fibra

$$P_{ru} = F_R n_p P_{pu} n \quad 6.3)$$

Para carga perpendicular a la fibra

$$Q_{ru} = F_R n_p Q_{pu} n \quad 6.4)$$

Para cargas a un ángulo θ con respecto a las fibras

$$N_{ru} = \frac{P_{ru} Q_{ru}}{P_{ru} \sin^2 \theta + Q_{ru} \cos^2 \theta} \quad 6.5)$$

donde

n_p número de planos de cortante;

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

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

P_{pu}' resistencia especificada por perno para cargas paralelas a la fibra (tabla 6.4);

Q_{pu}' resistencia especificada por perno para cargas perpendiculares a la fibra (tabla 6.5);

n número de pernos en un grupo; y

F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.4).

6.3.3.2 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.

Tabla 6.4 Valores de P_{pu} por plano de cortante para cargas paralelas a la fibra con piezas laterales de madera en uniones con pernos, kg

Diámetro perno mm	Grosor efectivo mm	Coníferas	Latifoliadas			
			Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
6.4	38	146	204	182	120	100
	64	185	235	216	149	119
	87	185	235	216	159	137
	mayor que 140	185	235	216	159	137
9.5	38	278	389	353	206	153
	64	337	481	425	274	227
	87	395	517	477	313	252
	mayor que 140	407	517	477	351	303
12.7	38	371	598	509	275	205
	64	547	749	671	457	345
	87	607	868	766	493	408
	140	728	924	852	621	492
	mayor que 190	728	924	852	627	541
15.9	38	465	749	637	345	257
	64	783	1 092	989	580	432
	87	877	1 214	1 083	728	588
	140	1 080	1 448	1 335	858	694
	190	1 141	1 448	1 335	982	807
	mayor que 240	1 141	1 448	1 335	982	848
19.1	38	558	899	765	414	308
	64	940	1 514	1 289	697	520
	87	1 211	1 633	1 471	948	706
	140	1 415	2 045	1 798	1 143	939
	190	1 646	2 089	1 927	1 321	1 056
	240	1 646	2 089	1 927	1 417	1 201
	mayor que 290	1 646	2 089	1 927	1 417	1 224
22.2	38	649	1 045	889	481	359
	64	1 093	1 760	1 498	810	604
	87	1 485	2 115	1 918	1 102	821
	140	1 793	2 535	2 246	1 469	1 223
	190	2 072	2 822	2 603	1 650	1 337
	240	2 224	2 822	2 603	1 875	1 488
	mayor que 290	2 224	2 822	2 603	1 915	1 653
25.4	38	742	1 196	1 018	551	604
	64	1 250	2 014	1 714	927	691
	87	1 699	2 696	2 330	1 260	939
	140	2 242	3 109	2 772	1 859	1 511
	190	2 527	3 661	3 218	2 038	1 671
	240	2 876	3 695	3 408	2 272	1 824
	mayor que 290	2 911	3 695	3 408	2 507	2 007

Tabla 6.5 Valores de Q_{pu} por plano de cortante para cargas perpendiculares a la fibra con piezas laterales de madera o metal en uniones con pernos, kg

Diámetro perno mm	Grosor efectivo mm	Coníferas	Latifoliadas			
			Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
6.4	38	82	125	108	59	49
	64	125	166	153	87	72
	87	131	166	153	108	97
	mayor que 140	131	166	153	108	97
9.5	38	131	206	179	89	72
	64	198	305	263	142	120
	87	255	365	337	179	148
	mayor que 140	288	365	337	238	214
12.7	38	175	281	239	119	97
	64	289	432	376	200	163
	87	359	552	476	257	216
	140	515	653	602	373	308
	mayor que 190	515	653	602	425	383
15.9	38	219	352	300	149	121
	64	368	580	505	251	204
	87	478	721	625	341	277
	140	689	1 024	926	486	404
	190	807	1 024	944	627	516
	mayor que 240	807		944	666	516
19.1	38	263	423	360	179	145
	64	442	713	606	301	245
	87	601	909	793	409	333
	140	885	1 324	1 140	610	511
	190	1 106	1 477	1 363	774	640
	240	1 164	1 477	1 363	946	778
	mayor que 290	1 164	1 477	1 363	960	865
22.2	38	305	492	419	208	169
	64	514	828	705	350	285
	87	699	1 111	958	476	387
	140	1 029	1 575	1 360	743	622
	190	1 312	1 996	1 760	926	770
	240	1 572	1 996	1 841	1 121	925
	mayor que 290	1 572	1 996	1 841	1 297	1 087
25.4	38	349	563	479	238	193
	64	588	948	806	401	326
	87	800	1 288	1 096	544	443
	140	1 225	1 850	1 605	876	712
	190	1 537	2 383	2 050	1 094	916
	240	1 869	2 612	2 410	1 311	1 087
	mayor que 290	2 058	2 612	2 410	1 538	1 268

6.3.4 Requisitos particulares para pijas

6.3.4.1 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-23 “Tornillos de acero para madera” ref. 7).

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

6.3.4.2 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 la sección 6.3.2.3 para pernos con un diámetro igual al diámetro de la caña de la pija en cuestión.

6.3.4.3 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.

6.3.5 Resistencia de uniones con pijas

6.3.5.1 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 6.6 deberá ser igual o mayor que la carga de diseño.

$$P_{re} = F_R Y_e l_p n \quad (6.6)$$

donde

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

Y_e' resistencia especificada de extracción por unidad de longitud de penetración (tabla 6.6);

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 2.4).

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.

6.3.5.2 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 6.7.

b) Pijas hincadas perpendicularmente a la fibra

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

Para carga paralela a la fibra

$$P_{ru} = F_R A_1 n Y_u \quad (6.7)$$

Tabla 6.6 Resistencia especificada a la extracción de pijas, Y_e' , kg/cm

Diámetro		Coníferas		Latifoliadas			
mm	pulg.			Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
6.4	1/4	34	35	120	70	40	14
7.9	5/16	47	48	149	90	55	24
9.5	3/8	61	62	177	110	70	34
11.1	7/16	74	75	205	129	84	43
12.7	1/2	86	88	231	147	97	53
15.8	5/8	110	112	280	182	123	70
19.0	3/4	132	135	329	215	148	87
22.2	7/8	154	157	375	248	172	104
25.4	1	176	179	420	279	195	119

Tabla 6.7 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

Tabla 6.8 Valores especificados de resistencia lateral para cargas paralelas a la fibra en pijas, Y_u' , kg/cm²

	Coníferas		Latifoliadas			
			Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
Y_u'	3.0	31	54	42	33	25

Para carga perpendicular a la fibra

$$Q_{ru} = P_{ru} J_n \quad (6.8)$$

Para carga a un ángulo θ con respecto a la fibra

$$N_{ru} = \frac{P_{ru} Q_{ru}}{P_{ru} \sin^2 \theta + Q_{ru} \cos^2 \theta} \quad (6.9)$$

donde

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

Y_u' valor especificado tabla 6.8);

J_n factor de modificación por carga perpendicular a la fibra (tabla 2.16);
 A_i superficie de apoyo de la pija, igual a $D l_p$;
 n número de pijas en un grupo; y
 F_R se tomará igual a 0.7 (tabla 2.4).

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} .

6.4 Uniones con placas dentadas o perforadas

6.4.1 Consideraciones generales

Se entiende por uniones con placa dentada o perforada, 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, "Láminas de acero al carbón galvanizadas por el proceso de inmersión en caliente para uso general" (ref. 8).

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:

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

6.4.2 Dimensionamiento

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

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

7. EJECUCIÓN DE OBRAS

7.1 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 se use como elemento estructural, deberá estar exenta de infestación activa de agentes biológicos como hongos e insectos. Se permitirá cierto grado de ataque por insectos, siempre que éstos hayan desaparecido al momento de usar la madera en la construcción. No se admitirá madera con pudrición en ningún estado de avance.

Se podrá usar madera de coníferas de clases A o B o maderas latifoliadas de calidad estructural.

7.2 Normas de calidad

La calidad de la madera de coníferas se regirá por la norma NMX-C-239, "Calificación y clasificación visual para madera de pino en usos estructurales" ref. 1). Para madera de especies latifoliadas deberá utilizarse norma NMX-C-409-ONNCCE, "Clasificación visual para maderas latifoliadas de uso estructural" ref. 2).

7.3 Contenido de humedad

Antes de la construcción, la madera deberá secarse a un contenido de humedad apropiado y tan parecido como sea práctico al contenido de humedad en equilibrio promedio de la región en la cual estará la estructura.

La tabla 7.1 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 y para madera maciza de latifoliadas se calculan de los datos de esta tabla como se indica al pie de la misma.

Tabla 7.1 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, GradosF° (°C)	Contenido de humedad en equilibrio (± 0.5 %)
45	32 a 104 (0 a 40)	8.3
50	32 a 104 (0 a 40)	9.1
55	32 a 104 (0 a 40)	10.0
60	32 a 104 (0 a 40)	10.8
65	32 a 104 (0 a 40)	11.8
70	32 a 104 (0 a 40)	12.9
72	32 a 104 (0 a 40)	14.2
75	32 a 104 (0 a 40)	15.8
80	32 a 104 (0 a 40)	17.8
mayor que 80	32 a 104 (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.

Si el contenido de humedad de la madera 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.

La madera deberá ser almacenada y protegida apropiadamente, contra cambios en su contenido de humedad y daño mecánico, de tal manera que siempre satisfaga los requerimientos de la clase estructural especificada.

7.4 Protección a la madera

Se cuidará que la madera esté debidamente protegida contra cambios de humedad, insectos, hongos, y fuego durante toda la vida útil de la estructura. Podrá protegérsele ya sea por medio de tratamientos químicos, recubrimientos apropiados, o prácticas de diseño 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 “Preservadores para madera – Clasificación y requisitos” (ref. 9).

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 “Madera Preservada a Presión – Clasificación y Requisitos” (ref. 10).

Para disminuir el riesgo de ataque por termitas se deberán tomar en cuenta las indicaciones para prevenir el ataque por termitas subterráneas y termitas de madera seca en

construcciones con madera de la norma NMX-C-222 “Prevención de Ataque por Termitas” (ref. 11).

7.5 Pendiente mínima de los techos

La superficie de los techos deberá tener una pendiente mínima de 3 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.

7.6 Tolerancias

Las tolerancias en las dimensiones de la sección transversal de un miembro deberán conformar con los requerimientos prescritos en la norma NMX-C-224-ONNCCE “Dimensiones de la madera aserrada para su uso en la construcción” (ref. 3). 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.

7.7 Transporte y montaje

El ensamblaje de estructuras deberá llevarse a cabo en tal forma que no se produzcan esfuerzos excesivos en la madera 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.

8. RESISTENCIA AL FUEGO

8.1 Medidas de protección contra fuego

8.1.1 Agrupamiento y distancias mínimas 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 NMX-C-145 “Agrupamiento y distancias mínimas en relación a protección contra el fuego en viviendas de madera” (ref. 12).

8.1.2 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 “Resistencia al fuego. Determinación” (ref. 13).

8.1.3 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 NMX-C-294 “Determinación de las características del quemado superficial de los materiales de construcción” (ref. 14).

8.2 Diseño de elementos estructurales y ejecución de uniones

8.2.1 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 “Resistencia al fuego. Determinación” (ref. 13), pudiendo emplearse métodos de tratamiento, recubrimientos, o considerando la reducción de sección de las piezas.

8.2.2 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.

9. PANELES ESTRUCTURALES

9.1 Introduccion

Este capítulo aplica para estructuras formadas a base de paneles de madera, donde los paneles están constituidos por postes de madera estructural colocados con una separación máxima a centro de 61cm, y cubiertos con hojas de madera contrachapada, en uno o ambos lados del muro. En este tipo de estructuras se considera que la carga vertical y fuera del plano, para el caso de muros expuestos a viento, esta soportada por los postes de madera, y las fuerzas cortantes generadas por fuerzas laterales serán resistidas por las hojas de madera contrachapada.

9.2 Métodos de análisis y diseño

En estructuras continuas donde el principal elemento estructural son los muros a base de paneles ligeros de madera, el análisis se puede realizar mediante el modelado de los postes que conforman los muros, así como modelando las hojas de madera contrachapada que se colocan en una o dos caras.

Alternativamente, se puede utilizar el método simplificado o el método estático para determinar las fuerzas que deberá resistir cada muro de la estructura, al igual que en las estructuras de mampostería, y posteriormente se deberán comparar dichas fuerzas contra la resistencia del muro. La resistencia de los paneles depende de varios factores, tales como el tipo de madera que se utiliza, el tamaño y la separación de los postes metálicos, el espesor

de la madera contrachapada, y del tamaño y separación de los clavos tanto en el perímetro de la hoja de madera como al centro, teniendo un mayor impacto en la resistencia la separación en el extremo.

9.3 Resistencia lateral de los paneles de madera

La resistencia lateral de diseño por metro línea de los muros se puede determinar mediante experimentación, métodos analísticos, o de la siguiente tabla 9.1.

Tabla 9.1. Resistencia cortante de los paneles

Espesor de la madera		Clavos		Resistencia a cortante del panel en kg/m			
contrachapada		Prof. minima de penetracion	Tamaño (diametro)	Separacion de los clavos (cm)			
(cm)	(pulgadas)			15	4	7.5	2
0.80	5/16	3.5	6d (0.113"x2")	330.5	495.7	642.6	826.2
0.98	3/8	4.0	8d (0.131"x2.5")	367.2	550.8	716.0	936.4
1.11	7/16	4.0	8d (0.131"x2.5")	440.6	642.6	826.2	1074.1
1.2	15/32	4.5	10d (0.148"x3")	477.4	697.7	899.6	1175.0
1.27	1/2	4.5	10d (0.148"x3")	569.2	844.6	1101.6	1413.7
Postes de madera con cubierta de hojas de carton de yeso de 1.27cm de espesor							
1.27	1/2	4.5	10d (0.148"x3")	256.0	380.25	495.72	636.17

Los valores mostrados en la tabla 9.1 son para la cubierta instalada en un lado del panel, si se instala cubierta en ambos lados del panel se sumara la resistencia de las dos cubiertas instaladas. Los postes de madera se deberán instalar a una separación máxima de 41cm para cubiertas con espesor de 0.98cm o menor, y como separacion de hasta 61cm para cubiertas de espesor mayor, y los clavos no deberán tener separaciones mayores a 15cm. Los clavos deberán ser galvanizados.

Los paneles deberán tener doble poste en los extremos, y deberán tener anclajes en los extremos, diseñados para resistir las componentes de tensión y compresión que se generan en cada extremo por la tendencia del panel a rotar. Asimismo, se debean considerar anclajes intermedios de menor tamaño para fijar el panel. La longitud del panel es considerada como la longitud del muro que no tiene vanos, por lo que las secciones de muros entre vanos se consideran como paneles independientes.

9.4 Calculo de la deformación lateral del panel.

Para el caso de estructuras analizadas manualmente, la deformación lateral del panel se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta = \frac{8v^3}{EAb} + \frac{v^2}{Gt} + 0.75e_n + \frac{d_a}{b}$$

Donde v es la fuerza cortante lateral, h es la altura del panel, E es el modulo de eslasticidad de los postes, A es el área de la sección transversal de los postes del panel, b es la longitud del panel, G es el modulo elástico a cortante de la cubierta, t es el espesor de la cubierta, d_a es el corrimiento del ancla el cual es especificado por el proveedor del ancla, pero en caso de no contar con el dato utilizar 0.32cm.

$$e_n = 1.2 \frac{V_{clavo}^{1.869}}{389kg}$$

Donde V_{clavo} es el cortante que le corresponde a cada clavo, se divide el cortante del panel dado en kg/m, entre el numero de clavos por metro lineal.

10. REFERENCIAS

1. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Calificación y clasificación visual para madera de pino en usos estructurales. NMX-C-239-1985. México, D.F., 1985.
2. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Clasificación visual para maderas latifoliadas de uso estructural. NMX-C-409-ONNCCE-1999. México, D.F., 1999.
3. NMX-C-224-ONNCCE-2001 Industria de la construcción – Vivienda de madera y equipamiento urbano – Dimensiones de la madera aserrada para su uso en la construcción.
4. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Madera contrachapada de pino. NMX-C-326-1978. México, D. F., 1978
5. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Clavos cilíndricos. NMX-H-64-1960. México, D.F., 1960.
6. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Tornillos con cabeza hexagonal. NMX-H-47-1988. México, D.F., 1988 con concordancia a DIN-601, DIN-931, ISO 4014, ISO 4016.
7. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Tornillos de acero para madera. NMX-H-23-1976. México, D.F., 1976.
8. SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Láminas de acero al carbón galvanizadas por el proceso de inmersión en caliente para uso general. NMX-B-9-1996. México, D.F., 1996.
9. NMX-C-178-ONNCCE-2001 Industria de la construcción – Preservadores para madera – Clasificación y requisitos.
10. NMX-C-322-ONNCCE-2003 Industria de la construcción – Madera preservada a presión – Clasificación y requisitos.
11. (SECOFI Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Prevención de ataque por termitas. NMX-C-222- 1983. México, D.F., 1983.
12. (SECOFI Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Agrupamiento y distancias mínimas en relación a protección contra el fuego en viviendas de madera. NMX-C-145-1982. México, D.F., 1982.
13. (SECOFI Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Resistencia al fuego. Determinación. NMX-C-307- 1982. México, D.F., 1982.
14. (SECOFI Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Determinación de las características del quemado superficial de los materiales de construcción. NMX-C-294-1980. México, D.F., 1980.

15. NMX-C-409-ONNCCE-1999 Industria de la construcción – Elementos de madera – Clasificación visual para maderas latifoliadas de uso estructural
16. NMX-C-410-ONNCCE-1999 Industria de la construcción – Vivienda de madera – Retención y penetración de sustancias preservadoras en madera – Métodos de prueba.
17. NMX-C-411-ONNCCE-1999 Industria de la construcción – Vivienda de madera – Especificaciones de comportamiento para tableros a base de madera de uso estructural
18. NMX-C-419-ONNCCE-2001 Industria de la construcción – Preservación de maderas – Terminología.
19. NMX-C-434-ONNCCE-2006 Industria de la construcción – Pisos de madera sólida – Clasificación y especificaciones.
20. NMX-C-438-ONNCCE-2006 Industria de la construcción – Tableros contrachapados de madera de pino y otras coníferas – Clasificación y especificaciones.
21. NMX-C-439-ONNCCE-2006 Industria de la construcción – Tableros contrachapados de madera de pino y otras coníferas – Propiedades físicas – Métodos de ensayo.
22. NMX-C-440-ONNCCE-2006 Industria de la construcción – Tableros contrachapados de madera de pino y otras coníferas – Propiedades mecánicas – Métodos de ensayo.
23. NMX-C-443-ONNCCE-2006 Industria de la construcción – Madera – Contenido de humedad de la madera – Método de ensayo.
24. NMX-C-446-ONNCCE-2006 Industria de la construcción – Vivienda de madera y equipamiento urbano – Métodos de ensayo para determinar las propiedades mecánicas de la madera de tamaño estructural.

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 B 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 B 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

TABLA B GROSORES DE LAS CHAPAS Y PROPIEDADES EFECTIVAS DE LA SECCIÓN PARA LAS PLACAS DE MADERA CONTRACHAPADA SIN PULIR

PROPIEDADES DE LA SECCIÓN POR UN METRO DE ANCHO															
GROSOR NOMIN	NOMBRE DE CHAPAS	GROSOR DE LAS CHAPAS			CHAPAS EXTERIORES PARELEAS AL ESFUERZO						CHAPAS EXTERIORES PERPENDICULARES AL ESFUERZO				
		CHAPAS EXTERIORE	CHAPAS TRANSVERSALES	CENTROS	GROSOR NETO	GROSOR EFECTIVO	AREA EFECTIVA	MODULO DE SECCION EFECTIVO	MOMENTO DE INERCIA EFECTIVO	CONSTANTE PARA CORRIANTE POR FLEXION	GROSOR EFECTIVO	AREA EFECTIVA	MODULO DE SECCION EFECTIVO	MOMENTO DE INERCIA EFECTIVO	CONSTANTE PARA CORRIANTE POR FLEXION
		t	te	Al	Si	lt	$\frac{lb}{Q}$	te	Al	Si	lt	$\frac{lb}{Q}$			
m	mm	mm	mm	mm	cm	cm ²	cm ³	cm ⁴	cm ²	cm	cm ²	cm ³	cm ⁴	cm ²	
9	3	3.18	2.54		8.10	0.43	42.86	8.57	3.20	56.11	0.17	17.46	1.52	0.07	
9	3	3.18	3.18		8.74	0.56	50.56	12.14	5.31	63.95	0.24	23.86	2.85	0.17	
9	5	1.59	1.59	2.54	8.10	0.49	49.29	7.44	3.02	61.17	0.24	23.86	4.19	1.03	46.32
9	5	2.12	2.12	1.59	9.27	0.50	50.36	10.85	5.03	73.77	0.34	34.45	4.91	1.24	43.34
12	3	3.18	6.35		11.90	0.56	55.66	20.08	11.97	94.15	0.56	55.55	15.43	2.14	
12	5	2.54	2.54	1.59	10.95	0.59	58.76	15.55	8.52	87.30	0.43	42.85	6.77	1.99	49.72
12	5	2.54	2.12	2.54	11.06	0.68	68.26	15.96	8.83	85.19	0.34	34.46	5.52	1.98	53.94
12	5	3.18	2.12	1.59	11.39	0.72	71.56	18.81	10.72	87.11	0.34	34.45	4.91	1.24	43.34
16	5	2.54	3.18	3.97	14.61	0.83	82.56	23.75	17.36	113.16	0.56	55.66	16.88	8.05	85.63
16	5	2.54	3.97	2.54	14.75	0.68	68.26	23.53	17.37	121.23	0.71	71.46	18.43	8.92	81.71
16	5	3.18	3.97	1.59	15.08	0.72	71.55	28.47	21.49	123.15	0.71	71.45	15.17	6.63	71.85
16	5	3.18	3.18	3.18	15.08	0.87	87.46	28.81	21.76	118.18	0.56	55.66	14.56	6.37	76.75
19	5	3.97	3.97	3.97	19.05	1.11	111.16	45.29	44.11	148.86	0.71	71.46	23.59	13.11	97.29
19	7	2.54	2.54	3.18	18.25	1.08	105.46	36.96	33.78	148.86	0.68	58.25	24.33	16.04	125.92
19	7	2.54	3.18	2.54	18.90	0.94	93.66	36.71	34.70	137.56	0.87	57.45	30.55	21.12	126.97
19	7	3.18	2.54	3.18	19.54	1.19	119.26	46.25	45.20	139.41	0.58	68.26	24.33	16.04	126.92
22	5	2.54	5.56	5.56	20.95	0.98	98.46	37.74	39.56	164.61	1.53	103.26	48.31	38.37	138.62
22	5	3.18	4.76	6.35	21.43	1.19	119.16	47.50	50.91	164.24	0.87	87.26	42.06	31.71	136.66
22	7	3.18	2.54	3.97	21.12	1.35	153.06	53.62	56.64	147.31	0.58	68.26	23.53	20.85	145.47
22	7	2.54	3.97	2.54	21.27	0.94	93.66	42.34	45.05	156.57	1.11	111.16	44.08	35.70	145.58
25	5	3.18	6.35	6.35	24.61	1.19	119.16	55.92	58.83	194.30	1.19	119.06	63.85	58.28	159.15
25	7	2.54	4.76	3.18	24.92	1.06	106.46	57.23	66.34	179.13	1.35	134.85	66.00	68.50	178.91
25	7	3.18	3.97	3.18	23.83	1.19	119.26	59.32	70.70	173.86	1.11	111.16	49.19	42.98	160.31
25	7	3.18	3.18	4.76	24.62	1.51	150.86	67.86	83.55	169.51	0.87	87.46	44.65	40.79	178.80