

CAPÍTULO 1

Requisitos Generales

1.1 Alcance

Esta norma proporciona criterios de diseño para estructuras construidas con madera aserrada de grado estructural, madera laminada encolada estructural, productos fabricados a base de paneles, postes, pilares y otros componentes de madera estructural, y sus conexiones. Esta norma es para el diseño de edificios y estructuras similares. Cuando en esta norma se hace referencia a los apéndices, se deben aplicar los requisitos de los apéndices. La derivación de las resistencias de cálculo y de diseño excede el alcance de esta norma.

Las resistencias de cálculo y resistencias requeridas establecidas para utilizar con esta norma se deben determinar de acuerdo con la Especificación ASTM D5457-93.

1.1.1 Unidades. Cuando los requisitos de esta norma requieren el empleo de unidades, éstas se presentan tanto en sistema métrico (SI) como en el sistema norteamericano habitual. Muchas de las ecuaciones de verificación no requieren una declaración explícita de las unidades; en estas ecuaciones el diseñador deberá utilizar unidades consistentes para todas las magnitudes.

1.2 Documentos aplicables

American Forest & Paper Association, 1991. *National Design Specification for Wood Construction*. AF&PA. Washington, DC.

American Society of Civil Engineers, 1993. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. ASCE 7-93. New York, NY.

American National Standards Institute. 1981. *American National Standards for Wood Screws (inch series)*. ANSI B18.6.1-1981. New York, NY.

American National Standards Institute. 1981. *American National Standard for Square and Hex Bolts and Screws (inch series)*. ANSI B18.2.1-1981. New York, NY.

American National Standards Institute, 1992. *Specifications and Dimensions for Wood Poles*. ANSI O5.1-1992. New York, NY.

American Society for Testing and Materials, 1986. *Standard Method for Determining the Mechanical Properties of Externally and Internally Threaded Fasteners, Washers and Rivets*. ASTM F606-86. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials. 1987. *Specification for Zinc Coating (Hot Dip) on Iron Steel Hardware*. ASTM A153-87. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials, 1993. *Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber*. ASTM D245-93. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials. 1988. *Establishing Clear Wood Strength Values*. ASTM D2555-88. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials. 1989. *Standard Specification for Ferritic Malleable Iron Castings*. ASTM A47-89. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials. 1994. *Standard Specification for Establishing and Monitoring Structural Capacities of Prefabricated Wood I-Joists*. ASTM D5055-94. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials. 1994. *Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber*. ASTM D143-94. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials. 1991. *Round Timber Piles*. ASTM DZ5-91. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials. 1991. *Establishing Allowable Properties for Visually Graded Dimension Lumber from In-Grade Tests of Full-size Specimens*. ASTM D1990-91. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials. 1993. *Establishing Stresses for Structural Glued Laminated Timber (Glulam)*. ASTM D3737-93c. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials. 1993. *Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products*. ASTM D5456-93. Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials. 1993. *Standard Specification for Computing the Reference Resistance of Wood-Based Materials and Structural Connections for Load and Resistance Factor Design*. ASTM D5457-93. Philadelphia, PA.

Society of Automotive Engineers. 1985. *Mechanical and Material Requirements for Externally Threaded Fasteners*, SAE J429. Warrendale, PA.

Society of Automotive Engineers. 1990. *Chemical Composition of SAE J403*. En *SAE Handbook*, Vol. 1: Materiales. Warrendale, PA.

Society of Automotive Engineers. 1989. *General Characteristics and Heat Treatment of Steels*. SAE J412. Warrendale, PA.

Truss Plate Institute. 1995. *National Design Standard for Metal Plate Connected Wood Truss Construction*, ANSI/TPI 1-1995. Madison, WI.

U.S. Department of Commerce. 1994. *Construction and Industrial Plywood*. PS 1-94. Washington, DC.

U.S. Department of Commerce. 1992. *Performance Standard for Wood-Based Structural-Use Panels*. PS 2-92. Washington, DC.

U.S. Department of Commerce, 1994. *American Softwood Lumber Standard*, PS 20-94. Washington, DC.

1.3 Cargas y combinaciones de cargas

Las cargas nominales serán las requeridas por el código de construcción aplicable. En ausencia de un código de construcción determinante, las cargas nominales serán aquellas estipuladas en la norma ASCE 7-93.

1.3.1 Cargas nominales. Se deberán considerar las siguientes cargas nominales:

- D Carga permanente de la construcción, incluyendo el peso de los muros, entresijos, cubiertas, cielorrasos, tabiques fijos, escaleras y equipos de servicio fijos.
- L Sobrecarga útil producida por el uso y ocupación del edificio, incluyendo cargas de impacto, pero excluyendo cargas ambientales tales como nieve, viento, lluvia, etc.
- L_r Sobrecarga útil de la cubierta producida por los operarios, equipos y materiales durante las operaciones de mantenimiento, o producida durante el uso normal por objetos móviles y personas.
- S Carga de nieve producida por la acumulación uniforme de nieve, deslizamiento de nieve y/u otras condiciones provocadas por la nieve.
- R Carga de agua de lluvia o hielo, excluyendo las contribuciones provocadas por el estancamiento.
- W Carga de viento.
- E Carga sísmica, determinada de acuerdo con la norma ASCE 7-93.

1.3.2 Combinaciones de cargas. A menos que el código aplicable indique lo contrario, las estructuras, los miembros estructurales y sus conexiones se deben diseñar utilizando las siguientes combinaciones de cargas factoreadas (en la Secc. 1.3.3 se describen más detalladamente los subconjuntos de combinaciones de cargas).

- 1,4D (1.3-1)
- 1,2D + 1,6L + 0,5D(L_r o S o R) (1.3-2)
- 1,2D + 1,6(L_r o S o R) + (0,5L o 0,8W) (1.3-3)
- 1,2D + 1,3W + 0,5L + (0,5L o 0,8W) (1.3-4)
- 1,2D + 1,0E¹ + 0,5L + 0,2S (1.3-5)
- 0,9D - (1,3W o 1,0E¹) (1.3-6)

Excepción: En las combinaciones de las ecuaciones 1.3-3, 1.3-4 y 1.3-5 el factor de carga correspondiente a L debe ser igual a 1,0 en el caso de cocheras para estacionamiento de vehículos, áreas ocupadas como lugares de asamblea pública y todas las áreas en las cuales la sobrecarga sea mayor que 100 psf (4,78 kPa). En el código de

¹ La carga factoreada 1,0E es para utilizar con las cargas sísmicas determinadas de acuerdo con la norma ASCE 7-93.

construcción aplicable encontrará las reducciones admisibles para las magnitudes de las sobrecargas.

Se debe investigar cada uno de los estados límites relevantes, incluyendo aquellos casos en los cuales algunas de las cargas de una combinación son nulas. Las condiciones de cargas no equilibradas se deben investigar de acuerdo con los requisitos del código de construcción aplicable.

1.3.3 Otras cargas. Si sus efectos son significativos, es necesario investigar los efectos estructurales de otras acciones, incluyendo pero no limitadas al peso y presión lateral de los suelos, cambios dimensionales provocados por diferenciales de temperatura, contracción, humedad, fluencia lenta y asentamientos diferenciales.

Durante el diseño los efectos estructurales de las cargas provocadas por fluidos (F), suelo (H), estancamiento (P) y temperatura (T) se deben investigar utilizando los siguientes factores de carga: 1,3F; 1,6H; 1,2P y 1,2 T.

1.3.4 Cargas que actúan en sentidos contrarios. Cuando los efectos de las cargas que actúan sobre un miembro o una conexión se contrarrestan mutuamente, el diseño deberá tomar en cuenta la inversión de los esfuerzos axiales, cortes y momentos.

1.4 Fundamentos del diseño

1.4.1 Diseño para estados límites. Los miembros estructurales y conexiones se deben dimensionar de manera que la estructura no supere ningún estado límite cuando esté sometida a las cargas de diseño aplicables.

Los estados límites de resistencia deben incluir cada una de las resistencias requeridas (fuerza o tensión) consideradas para cada sistema, miembro o conexión.

Los estados límites de servicio se exponen en el Capítulo 10.

TABLA 1.4-1
Factores de resistencia, φ.

Aplicación	Símbolo	Valor
Compresión	φ _c	0,90
Flexión	φ _b	0,85
Estabilidad	φ _s	0,85
Tracción	φ _t	0,80
Corte / Torsión	φ _v	0,75
Conexiones	φ _j	0,65

1.4.2 Análisis estructural. Los efectos de las cargas sobre los componentes y conexiones individuales se deben determinar mediante métodos elásticos de análisis estructural. El análisis debe tomar en cuenta el equilibrio, la estabilidad general, la compatibilidad geométrica y las propiedades del material tanto a corto plazo como a largo plazo. Alternativamente, estará permitido utilizar análisis no lineales o inelásticos siempre que haya datos confiables disponibles sobre el comportamiento y que la autoridad competente lo autorice.

1.4.2.1 *Módulo de elasticidad.* Para determinar los efectos de las cargas en las estructuras indeterminadas y para calcular las deformaciones y otras condiciones de servicio se debe utilizar el módulo de elasticidad ajustado, E' .

El módulo de elasticidad ajustado, E' , a utilizar en el diseño depende de la aplicación. En los casos en los cuales se calcula la resistencia o estabilidad estructural, se debe utilizar el valor ajustado correspondiente al cinco por ciento, E_{05}' . El valor E_{05}' se debe calcular como:

$$E_{05}' = 1,03E'(1 - 1,645(COV_E))$$

donde 1,03 es el factor de ajuste para pasar del E tabulado al E libre de corte; y COV_E es el coeficiente de variación de E.

Excepción: Para la madera laminada encolada el factor de ajuste debe igual a 1,05 y no 1,03.

Al módulo de elasticidad no se le debe aplicar el factor de efecto temporal, λ .

1.4.2.2 *Restricción de los extremos.* El diseño de las conexiones debe ser consistente con las hipótesis del análisis estructural y con el tipo de construcción especificado en los planos. A menos que la capacidad de las conexiones para otorgar un grado especificado de restricción se pueda demostrar mediante métodos experimentales o analíticos, se debe suponer que los entramados son simples, en los cuales se ignora la restricción rotacional. Las conexiones deben tener capacidad de rotación suficiente para evitar que los elementos de conexión se sobrecarguen bajo cargas de diseño.

TABLA 1.4-2.
Factores de efecto temporal.

Combinación de cargas		Factor de efecto temporal (λ)
1,4D	(1.3-1)	0,6
1,2D + 1,6L + 0,5D(L _r o S o R)	(1.3-2)	0,7 cuando L corresponde a almacenamiento 0,8 cuando L corresponde a ocupación 1,25 cuando L corresponde a cargas de impacto ²
1,2D + 1,6(L _r o S o R) + (0,5L o 0,8W)	(1.3-3)	0,8
1,2D + 1,3W + 0,5L + 0,5 (L _r o S o R)	(1.3-4)	1,0
1,2D + 1,0E ¹ + 0,5L + 0,2S	(1.3-5)	1,0
0,9D - (1,3W o 1,0E)	(1.3-6)	1,0

²Para las conexiones, $\lambda = 1,0$ cuando L corresponde a cargas de impacto.

1.4.2.3 *Cargas de larga duración.* El análisis de las estructuras y miembros que acumulan deformaciones residuales bajo cargas de servicio debe incluir las deformaciones adicionales que se espera se produzcan durante su vida útil, si es que estas deformaciones afectan su resistencia o calidad de servicio.

1.4.3 Estados límites de resistencia. El diseño de sistemas estructurales, sus elementos y conexiones debe garantizar que en todas las secciones de cada sistema, miembro y conexión la resistencia de diseño sea mayor o igual que los esfuerzos debidos a las cargas factoreadas, R_u .

1.4.3.1 *Esfuerzos debidos a las cargas factoreadas.* Los esfuerzos sobre los miembros y conexiones, R_u , se deben determinar utilizando las combinaciones de cargas factoreadas de la Secc. 1.3.

1.4.3.2 *Resistencia de diseño.* Para cada estado límite la resistencia de diseño se debe determinar como el producto entre una resistencia ajustada, R' , un factor de resistencia, ϕ , y un factor de efecto temporal, λ . La resistencia de diseño debe ser mayor o igual al esfuerzo debido a las cargas factoreadas, R_u' :

$$R_u \leq \lambda \phi R' \quad (1.4-1)$$

donde R' indica la resistencia ajustada de un miembro, componente o conexión, como por ejemplo la resistencia a la flexión ajustada, M' , la resistencia al corte ajustada, V' , etc. De manera similar, R_u se reemplaza por M_u , V_u , etc. correspondientes a solicitaciones específicas de los miembros y/o conexiones.

La resistencia ajustada, R' , debe incluir los efectos de todos los factores de ajuste aplicables correspondientes al uso final u otros factores modificantes.

En la Tabla 1.4-1 se resumen los factores de resistencia, ϕ , presentados en los correspondientes capítulos de esta norma.

A menos que se especifique lo contrario, el factor de efecto temporal que se debe utilizar con las combinaciones de cargas de la Secc. 1.3.2 es el definido en la Tabla 1.4-2.

1.4.1 Estados límites de servicio. Los sistemas estructurales y sus componentes se deben diseñar de manera de limitar las flechas, desplazamientos laterales, vibraciones, fluencia lenta u otras deformaciones que afectarían adversamente la calidad de servicio del edificio o estructura. En el Capítulo 10 se discuten los estados límites de servicio.

1.4.5 Estructuras existentes. Los requisitos de diseño de esta norma son aplicables para evaluar las estructuras

existentes. Cuando un edificio u otra estructura existente se modifique, es necesario considerar los posibles efectos del deterioro y los daños físicos.

CAPÍTULO 2

Requisitos de diseño

2.1 Alcance

Este capítulo contiene requisitos comunes a la totalidad de la norma.

2.2 Superficie total y superficie neta

2.2.1 Superficie total. La superficie total, A , de cualquier sección de un miembro de madera es igual a la suma de las superficies de cada uno de los elementos que componen el miembro, medidas perpendicularmente al eje del miembro.

2.2.2 Superficie neta. A menos que se especifique lo contrario, la superficie neta de un miembro de madera, A_n , se obtiene restando de la superficie total la superficie correspondiente al material eliminado mediante perforaciones, ranuras, muescas, entalladuras u otras modificaciones. En el Capítulo 7 se dan requisitos sobre las superficies netas asociados con las conexiones.

2.3 Estabilidad

Se debe proveer estabilidad para la estructura en forma global y para cada componente en forma individual. El diseño debe tomar en cuenta los efectos de carga provocados por la deformación de la estructura o de los componentes individuales del sistema resistente a cargas laterales.

2.4 Apoyo lateral

En los puntos de apoyo de vigas, cerchas y otros elementos estructurales y/o componentes de madera, se debe restringir la rotación alrededor de su eje longitudinal, a menos que la restricción de la rotación se garantice por otros medios o que resultados de análisis o ensayos demuestren que esta restricción es innecesaria. En el Capítulo 5 se presentan las condiciones de apoyo lateral para miembros en flexión.

2.5 Condiciones de referencia

La resistencia de referencia, R , y la resistencia de referencia de las conexiones, Z , se debe determinar en base a las siguientes condiciones de referencia.

- (a) Condiciones de uso seco para las cuales el máximo contenido de humedad de equilibrio no supera el 19% en el caso de madera maciza o el 16% en el caso de productos encolados, y el límite inferior del promedio anual del contenido de humedad de equilibrio es 6%.
- (b) Los valores de resistencia de referencia corresponden a una exposición continua a temperaturas de hasta 100°F (32°C); temperaturas que ocasionalmente llegan a 150°C (65°C) en el caso de miembros y conexiones; o temperaturas que durante breves períodos superan los 200°F (93°C) en el caso de paneles estructurales. Los miembros de madera y sus conexiones no deben estar permanentemente expuestos a temperaturas superiores a 150°C (65°C). Los paneles estructurales no deben estar expuestos a temperaturas superiores a 200°F (93°F) durante largos períodos de tiempo. En el caso de condiciones prolongadas de temperaturas superiores a 100°F (32°C) se debe aplicar el ajuste por temperatura.
- (c) Productos de madera no tratados, a excepción de lo observado para postes y pilares, ver Secc. 2.6.6.
- (d) Productos nuevos, en contraposición con los materiales de madera extraídos para ser reutilizados.
- (e) Miembros o conexiones simples sin repartición de cargas ni acción compuesta.

El valor de la resistencia ajustada, R' (o Z') correspondiente a otras condiciones se debe determinar de acuerdo con la Secc. 2.6.

2.6 Resistencia ajustada

2.6.1 Generalidades. Cuando en las tablas se indique que son aplicables, los factores de ajuste presentados en las Tablas 2.6-1 y 7.1-1 se deben aplicar como lo requiere esta sección. La resistencia de cálculo ajustada se debe calcular como:

$$R' = R C_1 C_2 \dots C_n \quad (2.5-1)$$

donde R' es la resistencia ajustada, R es la resistencia de referencia y C_i son los factores de ajuste aplicables.

Si para calcular el factor de ajuste esta sección no hace referencia a una sección específica, los factores de ajuste se deben determinar de la siguiente manera:

- (a) Para el caso de la madera maciza aserrada, la madera laminada encolada estructural, los pilares de madera y las conexiones, los factores de ajuste se deben tomar de la publicación *National Design Specification® for Wood Construction*.
- (b) Para otros productos y conexiones a base de madera los factores de ajuste se deben determinar de acuerdo con normas aprobadas.

2.6.2 Factores de ajuste por las condiciones de uso final. Para condiciones de uso final diferentes de las

condiciones de referencia establecidas en la Secc. 2.5 se aplican los siguientes factores de ajuste:

C_M = factor de servicio húmedo que toma en cuenta contenidos de humedad en servicio superiores a 19% en el caso de madera maciza y 16% en el caso de productos de madera encolada.

C_T = factor de temperatura que toma en cuenta temperaturas de servicio prolongadas superiores a 100°F.

C_{pt} = factor de tratamiento conservante que toma en cuenta el tratamiento conservante de los productos de madera y sus conexiones. Los factores de ajuste correspondientes se deben obtener de los proveedores de productos tratados con conservantes y/o de los proveedores de productos químicos para este tipo de tratamientos.

C_{rt} = factor de tratamiento retardador del fuego que toma en cuenta el tratamiento retardador del fuego de los productos de madera y sus conexiones. Los factores de ajuste correspondientes se deben obtener de los proveedores de productos tratados con retardadores del fuego y/o de los proveedores de productos químicos para este tipo de tratamientos.

2.6.3 Factores de ajuste por la configuración del miembro. Además de los factores expuestos en la Sección 2.6.2, los siguientes factores se deben aplicar a todos los miembros y productos, con las limitaciones especificadas.

C_E = factor de acción compuesta para miembros en pisos, muros y cubiertas de madera; toma en cuenta el aumento de la resistencia cuando el revestimiento actúa junto con los miembros del entramado de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 5.

C_r = factor de repartición de cargas para vigas armadas o miembros de pisos, muros y cubiertas; toma en cuenta el aumento de la resistencia del conjunto de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 5 o de acuerdo con la norma de producto aplicable para otras aplicaciones.

C_F = factor de tamaño que toma en cuenta el efecto del tamaño del miembro de acuerdo con lo especificado por la norma de producto aplicable.

C_L = factor de estabilidad de vigas que toma en cuenta el efecto del apoyo lateral parcial de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 5.

C_p = factor de estabilidad de columnas que toma en cuenta el efecto del apoyo lateral parcial de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 4.

C_b = factor de superficie de apoyo que toma en cuenta el aumento de la superficie de apoyo efectiva de las vigas de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 4.

C_F = factor de forma que toma en cuenta el efecto de las secciones transversales no rectangulares sobre la resistencia a la flexión calculada de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 5 y las normas de producto aplicables.

2.6.4 Factores de ajuste adicionales para madera estructural y madera laminada encolada. Además de los factores expuestos en 2.6.2 y 2.6.3, en el caso de la madera estructural y madera laminada encolada se deben aplicar los siguientes factores.

C_H = factor de esfuerzo de corte que toma en cuenta el aumento de la resistencia al corte en los miembros de madera aserrada con rajaduras o grietas limitadas.

C_I = factor de interacción de tensiones que toma en cuenta el aumento de resistencia en una superficie de madera laminada encolada cortada a bisel.

C_T = factor de rigidez al pandeo que toma en cuenta el aumento de rigidez de los cordones de las cerchas de madera dimensional revestidas.

C_V = factor de efecto volumétrico para madera laminada encolada estructural cargada de forma perpendicular a la cara ancha de las láminas; toma en cuenta el efecto del volumen del miembro sobre su resistencia al momento.

C_c = factor de curvatura para madera laminada encolada estructural; toma en cuenta el efecto de la curvatura sobre la resistencia al momento.

C_{fu} = factor de uso plano que toma en cuenta el aumento de la resistencia al momento de los miembros de madera utilizados con una orientación de canto.

2.6.5 Factores de ajuste adicionales para paneles estructurales. Además de los factores expuestos en las Secc. 2.6.2 y 2.6.3, en el caso de los paneles estructurales se deben aplicar los siguientes factores.

C_w = factor de ancho que toma en cuenta el aumento de la resistencia del panel en los miembros de ancho reducido.

C_G = factor de grado/construcción para paneles que poseen propiedades físicas diferentes a las del grado de referencia del cual se conocen los valores de resistencia. Este factor también se utiliza en el caso de paneles para los cuales no se han publicado valores de la resistencia de referencia.

2.6.6 Factores de ajuste adicionales para postes y pilares de madera. Además de los factores expuestos en las Secc. 2.6.2 y 2.6.3, en el caso de los postes y pilares de madera se deben aplicar los siguientes factores.

C_{cs} = factor de sección crítica para pilares de madera de sección circular.

TABLA 2.6-1.
Aplicabilidad de los factores de ajuste para LRFD¹

Propiedad Ajustada =	Propiedad de referencia x	Factores de ajuste aplicables								
Propiedad Ajustada = todas	Propiedad de referencia x todas	Factores de ajuste por las condiciones de uso final								
		Servicio húmedo C_M^2	Temperatura C_t	Tratamiento conservante C_{pt}	Tratamiento retardador del fuego C_{rt}					
Propiedad ajustada = $F_b =$ $F_t =$ $F_v =$ $F_c =$ $F_{c\perp} =$ $E =$	Propiedad de referencia x F_b F_t F_v F_c $F_{c\perp}$ E	Factores de ajuste por la configuración del miembro								
		Acción compuesta	Repartición de cargas C_r	Tamaño C_F C_F	Estabilidad de vigas ³ C_L	Estabilidad de columnas C_P	Sup. de apoyo C_b	Forma C_f		
		Factores de ajuste adicionales para madera estructural y/o madera laminada encolada								
		Esfuerzo de corte	Rigidez al pandeo	Volumen C_V	Curvatura C_C	Uso plano C_{iu}				
		C_H	C_r							
		Factores de ajuste adicionales para paneles estructurales								
		Ancho	Grado/construcción							
C_W	C_G									
C_W	C_G									
C_G	C_G									
C_G	C_G									
C_G	C_G									
Factores de ajuste adicionales para postes y pilares de madera										
Sección crítica	Pilar único	Sin tratar								
C_{cs}	C_{sp}	C_u								
C_{sp}	C_u	C_u								
C_u	C_u	C_u								
C_u	C_u	C_u								
Factores de ajuste adicionales para conexiones estructurales										
Diafragma	Acción combinada	Geometría	Profundidad de penetración	Grano terminal	Placa metálica lateral	Clavo oblicuo				
Clavos										
C_{di}			C_d	C_{eg}		C_{in}	C_{in}			
Tornillos para madera										
			C_d	C_{eg}						
Bulones										
C_g		C_{Δ}								
Tirafondos, pasadores										
C_g		C_{Δ}	C_d	C_{eg}	C_{eg}					
Placas de corte, aros partidos										
C_g		C_{Δ}	C_d		C_{st}					
C_g		C_{Δ}	C_d							

¹ Cuando los valores numéricos de los factores de ajuste no están incluidos en esta norma, se los debe tomar de las normas de producto aplicables.

² Excepción: El factor de servicio húmedo no es aplicable a la resistencia de apoyo, F_g .

³ En los miembros de madera laminada encolada trabajando a flexión el factor de estabilidad de vigas, C_L , no se debe aplicar simultáneamente con el factor de volumen, C_V ; se debe aplicar el menor de estos factores.

C_{sp} = factor de pilar único para pilares de madera de sección circular.

C_u = factor correspondiente a condición no tratada para pilares de madera de sección circular.

2.6.7 Factores de ajuste adicionales para conexiones estructurales. Además de los factores expuestos en las Secc. 2.6.2 y 2.6.3, en el caso de las conexiones se deben aplicar los siguientes factores.

C_{di} = factor de diafragma que toma en cuenta el aumento de resistencia de los clavos utilizados en la construcción de diafragmas de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 9.

C_{eg} = factor de grano terminal.

C_g = factor de acción combinada que toma en cuenta la carga desigual de múltiples sujetadores en una fila de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 7.

C_{Δ} = factor de geometría que toma en cuenta la geometría de las conexiones que no se ajustan a una norma de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 7.

C_d = factor de profundidad de penetración que toma en cuenta la penetración reducida de los sujetadores de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 7.

C_{eg} = factor de grano terminal que toma en cuenta la resistencia reducida de los sujetadores insertados en el grano terminal, de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 7.

C_{st} = factor de placa lateral metálica para conexiones con placas de corte de 4 pulgadas (102 mm) de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 7.

C_{tn} = factor de clavos oblicuos para conexiones clavadas de acuerdo con lo especificado en el Capítulo 7.

CAPÍTULO 3

Miembros traccionados

3.1 Generalidades

3.1.1 Alcance. Este capítulo se aplica a miembros sometidos a tracción axial concéntrica y a porciones de miembros sometidas a tracciones locales significativas debidas a los detalles de las conexiones. Los miembros sometidos a una combinación de flexión y tracción axial deben cumplir con los requisitos de la Secc. 6.2. El

Capítulo 7 contiene requisitos adicionales con respecto a la tracción en las regiones donde se ubican los conectores.

3.1.2 Diseño de los miembros. Los miembros en tracción se deben diseñar de manera tal que:

$$T_u = \lambda \phi_t T' \quad (3.1-1)$$

donde T_u es el esfuerzo de tracción debido a las cargas factoreadas, λ es el factor de efecto temporal aplicable dado en la Tabla 1.4-2, ϕ_t es el factor de resistencia para tracción paralela al grano = 0,80 y T' es la resistencia a la tracción ajustada.

La resistencia ajustada se debe calcular multiplicando la resistencia de referencia por los factores de ajuste aplicables dados en la Secc. 2.6.

3.1.3 Consideraciones especiales. Los miembros en tracción no deben estar entallados.

3.2 Resistencia a la tracción paralela al grano

3.2.1 Resistencia a la tracción. La resistencia a la tracción ajustada de un miembro sometido a tracción concéntrica, T' , se debe evaluar en la superficie crítica neta:

$$T' = F_t' A_n \quad (3.2-1)$$

donde F_t' es la resistencia a la tracción paralela al grano ajustada y A_n es la superficie neta.

3.2.2 Consideraciones especiales para superficies netas asimétricas. Cuando el centroide de una superficie neta asimétrica de un grupo de tres o más conectores difiere del centroide de la superficie total en 5% del ancho del miembro o más, la excentricidad local se debe analizar de acuerdo con los principios establecidos de la mecánica y los procedimientos especificados en la Secc. 6.2.

3.3 Resistencia a la tracción perpendicular al grano.

Cuando sea imposible evitar esfuerzos de tracción perpendiculares al grano, se debe proveer un refuerzo mecánico suficiente para resistir el esfuerzo de tracción. Las tracciones radiales que se producen en los miembros curvos y en los miembros ahusados y entallados están limitadas por los requisitos de la Secc. 5.6.

3.4 Resistencia de miembros armados y compuestos

3.4.1 Miembros armados con componentes de materiales similares. Los miembros armados incluyen los cordones de las cerchas de múltiples miembros, cordones de los diafragmas, puntales y miembros similares que consisten en dos o más componentes paralelos de materiales con resistencias y rigideces similares conectados entre sí.

La resistencia de estos miembros armados se debe tomar como la sumatoria de las resistencias de los componentes individuales, siempre que las conexiones garanticen la distribución de la tensión axial entre los componentes individuales de manera proporcional a sus

superficies. En el diseño se deben tener en cuenta los efectos de los empalmes, los cuales pueden reducir la resistencia del miembro.

3.4.2 Miembros compuestos con componentes de diferentes materiales. El diseño de miembros en tracción formados por componentes de madera aserrada, madera laminada encolada u otros productos a base de madera que poseen diferentes rigideces actuando en paralelo o actuando en combinación con placas o barras metálicas se debe basar en el concepto de sección transformada. Los componentes se deben conectar de manera que actúen como una unidad, con los esfuerzos distribuidos de manera proporcional a las rigideces de los componentes. Para los miembros compuestos con este tipo de conexiones, la resistencia del miembro se debe determinar sumando las fuerzas que actúan sobre los componentes al llegar a la deformación axial que hace que el primer componente alcance su resistencia individual.

CAPÍTULO 4

Miembros comprimidos y superficies de apoyo

4.1 Generalidades

4.1.1 Alcance. Los requisitos de este capítulo se aplican a miembros sometidos a compresión axial concéntrica y a compresión localizada en las superficies de apoyo. Los miembros sometidos a flexocompresión, incluyendo los miembros con cargas axiales excéntricas, deben cumplir con los requisitos de la Secc. 6.3.

4.1.2 Diseño de los miembros. Los miembros comprimidos se deben diseñar de manera tal que:

$$P_u \leq \lambda \phi_c P' \quad (4.1-1)$$

donde P_u es el esfuerzo de compresión debido a las cargas factoreadas; λ es el factor de efecto temporal aplicable dado en la Tabla 1.4-2; ϕ_c es el factor de resistencia para compresión paralela al grano = 0,90; y P' es la resistencia a la compresión ajustada.

La resistencia ajustada se debe calcular multiplicando la resistencia de referencia por los factores de ajuste aplicables dados en la Secc. 6.2.

Los miembros sometidos a cargas axiales concentradas deben tener una resistencia de diseño local y estabilidad suficiente en el extremo afectado o en las regiones de conexión que les permita soportar estas cargas. De manera

similar, los miembros deben tener una resistencia de diseño local y estabilidad lateral en los apoyos de las vigas y en los puntos de aplicación de cualquier carga transversal concentrada.

4.2 Consideraciones sobre la esbeltez y la longitud efectiva

4.2.1 Longitud efectiva de una columna. La longitud no arriostrada real de una columna o de un segmento de columna, ℓ , se debe tomar como la distancia entre centro y centro de los apoyos laterales. La longitud no arriostrada se debe determinar tanto para el eje resistente como para el eje débil de la columna.

La longitud efectiva de una columna, ℓ_e , para la dirección considerada se debe tomar como $K_e \ell$, donde K_e es el coeficiente de pandeo correspondiente a los miembros en compresión. K_e depende de las condiciones de vínculo de la columna y de la presencia o ausencia de desplazamiento lateral.

En el caso de miembros comprimidos con desplazamiento lateral impedido en la dirección considerada, el coeficiente de pandeo, K_e , se debe tomar igual a la unidad, a menos que un análisis racional demuestre que las condiciones de vínculo justifican el empleo de un factor menor.

En el caso de miembros comprimidos no arriostrados contra el desplazamiento lateral, el coeficiente de pandeo, K_e , debe ser mayor que la unidad y se debe determinar mediante un análisis racional que tome en cuenta las condiciones de vínculo.

4.2.2 Relación de esbeltez de una columna. La relación de esbeltez de una columna es la relación entre la longitud efectiva en la dirección considerada y el radio de giro correspondiente a dicha dirección:

$$\text{relación de esbeltez} = K_e \ell / r \quad (4.2-1)$$

El radio de giro se debe calcular en base a la superficie total, utilizando una sección transformada si no todos los materiales de los componentes tienen la misma rigidez. En el caso de miembros entallados y ahusados, el radio de giro se debe determinar de acuerdo con las Secc. 4.3.3 y 4.3.4 respectivamente.

La relación de esbeltez de las columnas, $K_e \ell / r$, no debe ser mayor que 175.

4.3 Resistencia de columnas macizas con carga de compresión concéntrica

4.3.1 Valores de cálculo de los materiales y factores de cálculo. El módulo de elasticidad utilizado en las ecuaciones de esta sección es el valor ajustado correspondiente al cinco por ciento según lo especificado para el empleo en las ecuaciones de resistencia, E_{05}' .

4.3.2 Resistencia de columnas prismáticas. La resistencia de la columna se debe determinar en base a la dirección más crítica de la columna y a la relación de esbeltez del miembro. La resistencia ajustada de la columna se debe calcular como:

$$P' = C_p A F_c^* = C_p P_0' \quad (4.3-1)$$

El factor de estabilidad de la columna, C_p , se debe calcular como:

$$C_p = \frac{1 + \alpha_c}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1 + \alpha_c}{2c}\right)^2 - \frac{\alpha_c}{c}} \quad (4.3-2)$$

donde:

$$\alpha_c = \frac{\phi_s P_e}{\lambda \phi_c P_0'} \quad (4.3-3)$$

$$P_e = \frac{\pi^2 E_{05}' I}{(K_e \ell)^2} = \frac{\pi^2 E_{05}' A}{\left(K_e \frac{\ell}{r}\right)^2} \quad (4.3-4)$$

y:

A = superficie total;

F_c^* = resistencia a la compresión paralela al grano multiplicada por todos los factores de ajuste aplicables excepto C_p ;

ϕ_c = módulo de elasticidad ajustado correspondiente al cinco por ciento;

P_e = resistencia crítica al pandeo (Euler) alrededor del eje considerado;

P_0' = resistencia axial ajustada paralela al grano del miembro de una columna de longitud nula (es decir, el límite que se obtiene cuando la longitud tiende a cero);

$c = 0,80$ para miembros de madera maciza;

$c = 0,85$ para postes y pilares de sección circular;

$c = 0,90$ para miembros de madera laminada encolada y madera compuesta estructural;

ϕ_c = factor de resistencia para compresión = 0,90;

ϕ_s = factor de resistencia para estabilidad = 0,85.

El momento de inercial, I, los valores de E_{05}' y la longitud efectiva, $K_e \ell$, deben ser los correspondientes a la dirección analizada. A menos que un ensayo justifique la adopción de un valor mayor, para miembros que no sean de madera laminada encolada, postes o pilares, el valor de c debe ser igual a 0,80.

4.3.3 Resistencia de columnas prismáticas entalladas o perforadas. Además de los requisitos de la Secc. 4.3.2, la resistencia a la compresión ajustada de una columna prismática entallada o perforada se debe evaluar de la siguiente manera.

4.3.3.1 Entalladuras en una ubicación crítica.

$$P' = C_p A_n F_c^* \quad (4.3-5)$$

donde C_p se debe calcular utilizando las propiedades de la superficie neta si las entalladuras o perforaciones se encuentran en la mitad central de un tramo entre puntos de inflexión de la forma deformada por pandeo y:

- (a) el momento de inercia neto en dichas ubicaciones es menor que el 80% del momento de inercia total; o
- (b) la dimensión longitudinal de la entalladura o perforación es mayor que la mayor dimensión de la sección transversal de la columna.

4.3.3.2 Entalladuras en una ubicación no crítica.

Para casos no encuadrados en la Secc. 4.3.3.1, la resistencia a la compresión ajustada se debe calcular como el menor valor entre las Ec. 4.3-6 y 4.3-7:

$$P' = C_p A F_c^* \quad (4.3-6)$$

donde C_p se debe calcular utilizando las propiedades de la superficie total:

$$P' = A_n F_c^* \quad (4.3-7)$$

4.3.4 Resistencia de columnas ahusadas

4.3.4.1 Columnas ahusadas de sección circular.

La resistencia a la compresión ajustada de las columnas ahusadas de sección circular igualmente espaciadas se debe determinar utilizando las ecuaciones de la Secc. 4.3.2. El diámetro de diseño debe ser el diámetro del extremo de menor sección, o si el diámetro del extremo de menor sección, D_1 , es al menos un tercio del diámetro del extremo de mayor sección, D_2 , el diámetro de diseño debe ser el especificado en la Tabla 4.3-1.

4.3.4.2 Columnas ahusadas de sección rectangular. La resistencia a la compresión ajustada de las columnas rectangulares de ancho constante y profundidad uniformemente ahusada se debe determinar utilizando las ecuaciones de la Secc. 4.3.2. La profundidad de diseño debe ser la profundidad correspondiente al extremo de menor sección, o cuando la profundidad del extremo de menor sección, d_1 , es al menos un tercio de la profundidad del extremo de mayor sección, d_2 , la profundidad de diseño debe ser la especificada en la Tabla 4.3-2.

4.3.4.3 Además de los requisitos de las Secc.

4.3.4.1 ó 4.3.4.2, la resistencia a la compresión ajustada de un miembro ahusado se debe evaluar en la superficie neta crítica correspondiente al extremo de menor sección:

$$P' = A_n F_c^* \quad (4.3-8)$$

TABLA 4.3-1
Diámetro de cálculo (*D*) de una columna de sección circular ahusada, definido como $D = D_1 + X(D_1 - D_2)$.

Caso	Condición	<i>X</i> =
1	"Mástil" en voladizo, extremo de mayor sección empotrado	0,52 + 0,18 D_1/D_2
2	Pilar tipo "mástil" invertido, extremo de menor sección empotrado	0,12 + 0,18 D_1/D_2
3	Miembro con ahusamiento simple, ambos extremos simplemente apoyados	0,32 + 0,18 D_1/D_2
4	Miembro doblemente ahusado, ambos extremos simplemente apoyados	0,52 + 0,18 D_1/D_2

Para todas las demás condiciones de apoyo, $X = 1/3$

TABLA 4.3-2
Profundidad de diseño (*d*) de una columna de sección rectangular de ancho constante, definida como $d = d_1 + X(d_1 - d_2)$.

Caso	Condición	<i>X</i> =	
		Pandeo en la dirección de la profundidad	Pandeo en la dirección del ancho
1	"Mástil" en voladizo, extremo de mayor sección empotrado	0,55 + 0,15 d_1/d_2	0,63 + 0,07 d_1/d_2
2	Pilar tipo "mástil" invertido, extremo de menor sección empotrado	0,15 + 0,15 d_1/d_2	0,23 + 0,07 d_1/d_2
3	Miembro con ahusamiento simple, ambos extremos simplemente apoyados; miembro con ahusamiento simple o doblemente ahusado, ambos extremos empotrados o un extremo empotrado y un extremo simplemente apoyado (cuando el extremo empotrado es el de menor sección utilizar el caso 2)	0,35 + 0,15 d_1/d_2	0,43 + 0,07 d_1/d_2
4	Miembro doblemente ahusado, ambos extremos simplemente apoyados	0,55 + 0,15 d_1/d_2	0,63 + 0,07 d_1/d_2

Para todas las demás condiciones de apoyo, $X = 1/3$

4.4 Resistencia de columnas con separadores, columnas armadas y columnas compuestas

4.4.1 Columnas con separadores. Las columnas con separadores se deben diseñar de acuerdo con los requisitos del Apéndice A1.

4.4.2 Columnas armadas. La resistencia de las columnas armadas se debe calcular en base a un análisis que considere la efectividad de los sujetadores que conectan los componentes y la geometría de los componentes. Alternativamente, la resistencia de las columnas armadas se puede tomar como la suma de las resistencias de los componentes individuales, suponiendo que cada componente actúa de forma independiente.

4.4.3 Columnas compuestas. La resistencia de las columnas compuestas se debe determinar utilizando el concepto de sección transformada. Los componentes del miembro compuesto deben estar conectados de manera que el conjunto actúe como una unidad. Si la conexión no es mediante colas rígidas, el análisis debe considerar las deformaciones finitas resultantes de los sujetadores, o la resistencia se debe limitar a la suma de las resistencias de los componentes individuales, suponiendo que cada componente actúa de forma independiente.

4.5 Resistencia en los puntos de apoyo

4.5.1 Resistencia de los apoyos sobre grano terminal. En los extremos de los miembros la resistencia

de diseño en los apoyos sobre grano terminal se debe calcular de manera tal que:

$$P_u \leq \lambda \phi_c P_g' \tag{4.5-1}$$

donde P_u es el esfuerzo de compresión debido a las cargas factoreadas; λ es el factor de efecto temporal aplicable dado en la Tabla 1.4-2; ϕ_c es el factor de resistencia para compresión paralela al grano = 0,90; y P_g' es la resistencia ajustada del miembro correspondiente a apoyo paralelo al grano (grano terminal) igual a:

$$P_g' = A_n F_g' \tag{4.5-2}$$

donde A_n es la superficie de apoyo neta y F_g' es la resistencia de apoyo sobre grano terminal ajustada.

La resistencia ajustada se debe calcular multiplicando la resistencia de referencia por los factores de ajuste aplicables dados en la Secc. 2.6.

Si la carga de compresión factoreada es mayor que $0,75 \lambda \phi_c P_g'$, el apoyo se debe materializar sobre una placa o fleje de acero con un espesor no menor al calibre 20 o sobre otro material homogéneo y durable que posea una resistencia similar.

Los extremos de los miembros comprimidos apoyados uno contra otro se deben cortar de forma precisa y paralela, de manera que haya un buen calce entre los extremos de los miembros (incluyendo cualquier placa de apoyo requerida).

Estos extremos también deben estar arriostrados lateralmente en ambas direcciones.

4.5.2 Resistencia de los apoyos sobre grano lateral.

La resistencia de diseño de los apoyos sobre grano lateral se debe calcular de manera tal que:

$$P_u \leq \lambda \phi_c P_{\perp}' \quad (4.5-3)$$

donde P_u es el esfuerzo de compresión debido a las cargas factoreadas; λ es el factor de efecto temporal aplicable dado en la Tabla 1.4-2; ϕ_c es el factor de resistencia para compresión = 0,90; y P_{\perp}' es resistencia ajustada del miembro correspondiente a apoyo perpendicular al grano (grano lateral) igual a:

$$P_{\perp}' = A_n F_{c\perp}' \quad (4.5-4)$$

donde A_n es la superficie de apoyo neta (grano lateral) y $F_{c\perp}'$ es la resistencia ajustada correspondiente a compresión perpendicular al grano.

La resistencia ajustada se debe calcular multiplicando la resistencia de referencia por los factores de ajuste aplicables dados en la Secc. 2.6.

Cuando la longitud de apoyo, ℓ_b , no es mayor que 6 in. (150 mm) medidas a lo largo de la dimensión mayor del miembro y la longitud de apoyo total es de al menos 3 in. (75 mm) desde el extremo del miembro, está permitido multiplicar P_{\perp}' de la Ec. 4.5-4 por C_b :

$$C_b = (\ell_b + 0,375)/\ell_b \quad (4.5-5)$$

donde ℓ_b se expresa en pulgadas o por:

$$C_b = (\ell_b + 9,5)/\ell_b \quad (4.5-5-M)$$

donde ℓ_b se expresa en milímetros.

El factor de efecto temporal, λ , se aplica para todas las resistencias de apoyo, incluyendo el apoyo lateral. Ver Secc. 4.1.2.

4.5.3 Apoyo que forma un ángulo con la dirección del grano. La resistencia de diseño en un apoyo que forma un ángulo con la dirección del grano se debe calcular de manera tal que:

$$P_u \leq \lambda \phi_c P_{\theta}' \quad (4.5-6)$$

donde P_u es el esfuerzo de compresión debido a las cargas factoreadas; λ es el factor de efecto temporal aplicable dado en la Tabla 1.4-2; ϕ_c es el factor de resistencia para compresión = 0,90; y P_{θ}' es la resistencia ajustada del miembro correspondiente a apoyo en ángulo, θ_b , igual a:

$$P_{\theta}' = A_n \frac{F_g' F_{c\perp}'}{F_g' \sin^2 \theta_b + F_{c\perp}' \cos^2 \theta_b} \quad (4.5-7)$$

donde A_n es la superficie de apoyo neta; F_g' es la resistencia de los apoyos sobre grano terminal; $F_{c\perp}'$ es la resistencia ajustada correspondiente a compresión perpendicular al grano, y θ_b es el ángulo entre la fuerza de apoyo y la dirección del grano, 0° para apoyo paralelo al grano y 90° para apoyo perpendicular al grano.

Si θ_b es mayor o igual que 80° , en lugar de cumplir con la Ec. 4.5-7 está permitido suponer que la fuerza de apoyo actúa perpendicular al grano y aplicar las longitudes de apoyo que dependen de los requisitos de la Sec. 4.5.2.

4.6 Compresión radial en miembros curvos

En el caso de miembros curvos de sección transversal constante se aplican los requisitos de la Secc. 5.6. Las vigas entalladas y ahusadas se deben diseñar de acuerdo con el Apéndice A2.

CAPÍTULO 5

Miembros en flexión, flexión y corte

5.1 Generalidades

5.1.1 Alcance. Este capítulo se aplica a miembros y componentes cargados como miembros en flexión. Se incluyen requisitos tanto para flexión como para flexión y corte. Los miembros sometidos a flexión biaxial y/o combinaciones de flexión y tracción o compresión axial deben cumplir con los requisitos del Capítulo 6. En este capítulo se discuten los aspectos relacionados con la resistencia; los criterios de servicio para el diseño de miembros en flexión se presentan en el Capítulo 10. El estancamiento se discute en el Apéndice A3.

5.1.2 Diseño de los miembros. Los miembros en flexión se deben diseñar de la siguiente manera.

Para flexión:

$$M_u \leq \lambda \phi_b M' \quad (5.1-1)$$

donde M_u es el momento debido a las cargas factoreadas; λ es el factor de efecto temporal dado en la Tabla 1.4-2; ϕ_b es el factor de resistencia para flexión = 0,85; y M' es la resistencia al momento ajustada.

Para flexión y corte:

$$V_u \leq \lambda \phi_v V' \quad (5.1-2)$$

donde V_u es el esfuerzo de corte debido a las cargas factoreadas; λ es el factor de efecto temporal dado en la Tabla 1.4-2; ϕ_v es el factor de resistencia para corte = 0,75; y V' es la resistencia al corte ajustada.

Para torsión:

$$M_{tu} \leq \lambda \phi_v M_t' \quad (5.1-3)$$

donde M_{tu} es el momento torsor debido a las cargas factoreadas; λ es el factor de efecto temporal dado en la Tabla 1.4-2; ϕ_v es el factor de resistencia para torsión = 0,75; y M_t' es la resistencia a la torsión ajustada.

La resistencia ajustada se debe calcular multiplicando la resistencia de referencia por los factores de ajuste aplicables dados en la Secc. 2.6.

Los miembros deben tener una resistencia de diseño local y estabilidad adecuada en los puntos de aplicación de las cargas concentradas.

5.1.3 Longitud de diseño. Para calcular los cortes, momentos y flechas de los miembros se debe utilizar la longitud de diseño. Para el caso de miembros de un solo tramo que no se construyen de manera integral con los apoyos, la longitud de diseño es igual a la luz libre más la mitad de la longitud de apoyo requerida en cada extremo del miembro.

5.1.4 Entalladura de los miembros en flexión. Se debe evitar la entalladura de los miembros flexionados; evitar especialmente las secciones que se reducen a medida que se alejan de los extremos y las entalladuras en la cara traccionada. Se deben reducir las concentraciones de esfuerzos provocadas por las entalladuras adoptando una configuración con ahusamiento gradual y no una entalladura de bordes rectos.

Las entalladuras en los extremos de los miembros en flexión no deben superar un cuarto de la profundidad de la viga en el caso de madera maciza ni un décimo de la profundidad en el caso de madera laminada encolada estructural. Los miembros no deben estar entallados en sitios que no sean apoyos simples en los extremos de los miembros. Las entalladuras no deben estar ubicadas en la proximidad de los apoyos interiores de vigas continuas ni en los apoyos adyacentes a tramos en voladizo.

Excepción: En el caso de miembros de madera maciza de menos de 4 in. (100 mm) de espesor nominal, estarán permitidas las entalladuras que no superen un sexto de la profundidad del miembro si éstas no están ubicadas en el tercio central del tramo.

Si la entalladura está del lado comprimido, la resistencia flexional del miembro en cualquier sección entallada no debe ser mayor que la correspondiente a la sección neta en esa sección entallada. Si hay una entalladura en la cara traccionada y el momento que actúa

en cualquier punto de la entalladura supera la mitad de la resistencia flexional del miembro en base a la mínima sección neta en la entalladura, la resistencia flexional de toda la viga debe basarse en la sección neta en la entalladura en la cara traccionada.

Los efectos de las entalladuras u otras modificaciones de la sección se deben tomar en cuenta utilizando los requisitos de la Secc. 5.4.3.

Las entalladuras u otras modificaciones en las secciones transversales de vigas y viguetas de madera con sección doble T y en los elementos de madera compuesta estructural quedan fuera del alcance de esta norma y requieren un estudio especial.

5.1.5 Orientación de los miembros y condiciones de apoyo. Los miembros clasificados o fabricados para aplicaciones de un solo tramo no se deben utilizar en construcciones continuas o en voladizo, a menos que un análisis detallado y/o una reclasificación demuestren que el miembro es adecuado para la configuración propuesta. Los elementos de madera laminada encolada fabricados para aplicaciones de un solo tramo no se deben utilizar para vigas continuas o en voladizo, a menos que el diseño tome en cuenta la reducción de la resistencia flexional que se produce cuando el lado habitualmente comprimido del miembro está traccionado.

De manera similar, los miembros clasificados o fabricados para una forma de carga y/o una orientación determinadas se deben analizar detalladamente si no se utilizan en su configuración normalizada.

5.1.6 Acción parcialmente compuesta de conjuntos de miembros ensamblados en paralelo. La resistencia de cálculo de los conjuntos de miembros ensamblados en paralelo revestidos u otros conjuntos parcialmente compuestos se debe determinar utilizando:

- (a) la Secc. 5.1.2;
- (b) la Secc. 5.1.2 modificada por los factores de ajuste para conjuntos ensamblados de la Secc. 5.3; o
- (c) un análisis estructural que tome en cuenta la acción parcialmente compuesta y la repartición de cargas.

5.1.7 Resistencia al momento de miembros prismáticos de sección cuadrada y circular. La resistencia a la flexión ajustada de los miembros dada por la Ec. 5.2-2 se debe multiplicar por un factor de forma, C_f , igual a 1,5 para miembros de sección circular que no sean postes ni pilares, e igual a 1,40 para miembros cuadrados flexionados alrededor de la diagonal.

5.1.8 Resistencia al momento de vigas tubulares y vigas doble T. A menos que los resultados de ensayo demuestren que se justifica una resistencia más elevada, la resistencia al momento de las vigas de sección tubular o doble T armadas a partir de componentes conectados se debe determinar utilizando las propiedades de la sección transformada.

Las vigas con sección circular o doble T que incluyen productos fabricados a base de paneles deben cumplir con los requisitos del Capítulo 8 y del Apéndice A6.

5.1.9 Resistencia al momento de miembros no prismáticos. En el caso de los miembros no prismáticos, incluyendo postes y pilares, la ubicación correspondiente al máximo momento se debe determinar mediante análisis de la geometría del miembro y del esquema de cargas correspondiente.

Si la forma no prismática es el resultado de un ahusamiento recortado en el miembro, se deben cumplir los requisitos de las Secc. 5.1.10 y 5.1.11.

5.1.10 Ahusamiento de los miembros. Cuando una viga recta de madera laminada encolada se ahusa cortando la cara comprimida, se debe considerar la interacción de las tensiones de compresión paralelas al grano, las tensiones de compresión perpendiculares al grano y los esfuerzos de corte que actúan a lo largo del grano adyacente al corte inclinado en la ubicación crítica de las tensiones de flexión utilizando los requisitos de la Secc. 5.1.11.

La cara traccionada de los miembros de madera laminada encolada no se debe ahusar por corte.

Se deben investigar los efectos de los cortes inclinados realizados en la zona de compresión de un miembro de madera laminada encolada que eliminan las láminas exteriores de mayor calidad, y se debe tomar una reducción en la resistencia de flexión de referencia, F_b .

5.1.11 Interacción de esfuerzos en una cara cortada de un miembro. Cuando existe una superficie con un corte inclinado que forma un ángulo θ con la dirección del ángulo de grano a lo largo de la cara de compresión de una viga de madera laminada encolada, se debe calcular un factor de interacción de esfuerzos, C_1 , para la ubicación crítica de los esfuerzos utilizando la siguiente ecuación:

$$C_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\phi_b F_b' \tan \theta}{\phi_v F_v'}\right)^2 + \left(\frac{\phi_b F_b' \tan \theta}{\phi_c F_{c\perp}}\right)^2}} \quad (5.1-4)$$

La resistencia a flexión ajustada para flexión alrededor del eje resistente, F_{bx}' , a utilizar en la Ec. 5.1-4 se debe modificar multiplicando sólo por C_1 o por el factor volumétrico, C_v , el que resulte menor, ya que estos dos factores no son acumulativos.

5.1.12 Resistencia al momento de miembros compuestos. Los miembros compuestos, incluyendo los que contienen madera y revestimiento, madera y acero, madera y hormigón y otras combinaciones de materiales, se deben diseñar empleando los conceptos de sección transformada y los principios de la mecánica correspondientes al tipo de miembro compuesto analizado. Los componentes del miembro compuesto se deben conectar de manera tal que el conjunto se comporte como una unidad.

La resistencia al momento de un miembro compuesto flexionado formado por elementos parcialmente conectados se debe tomar como el valor menor seleccionado entre la resistencia controlada por las conexiones entre componentes y la capacidad resistente del miembro crítico. De manera alternativa, está permitido tomar una resistencia al momento mayor si ésta se basa en un análisis que reconozca explícitamente la acción parcialmente compuesta o en ensayos que demuestren que esta mayor resistencia se logra efectivamente.

5.1.13 Resistencia al momento de miembros armados. La resistencia al momento ajustada de las vigas armadas compuestas por tres o más placas verticales de profundidad similar y con la carga aplicada distribuida entre todas las placas se debe calcular como la sumatoria de las resistencias al momento individuales de los miembros ajustada utilizando los factores dados en la Secc. 5.3.2.

Si las placas individuales tienen rigideces diferentes, la carga aplicada se debe distribuir entre las diferentes placas en base a sus rigideces relativas.

Si la carga no está aplicada uniformemente sobre las placas de una viga armada, las conexiones entre las placas se deben diseñar para distribuir la carga aplicada entre las diferentes placas. Si la carga aplicada actúa solamente en una porción del ancho de la viga o está aplicada sobre uno o ambos lados de una viga armada que posee una relación ancho/profundidad de dos o más, no se debe aplicar el incremento correspondiente a repartición de cargas.

El cálculo de los miembros armados debe considerar los momentos torsionales, si es que dichos momentos se deben a condiciones de carga excéntrica.

5.2 Condiciones de apoyo lateral

5.2.1 Generalidades

5.2.1.1 Consideración de las condiciones de apoyo lateral. La reducción de la resistencia al momento de los miembros flexionados alrededor de su eje resistente debida a la falta de una estabilidad lateral totalmente efectiva se debe tomar en cuenta de acuerdo con los requisitos de esta sección y los de la Secc. 5.2.3.

La estabilidad lateral de los miembros durante la construcción debe proveerse de acuerdo con los métodos aprobados de la ingeniería.

5.2.1.2 Requisitos generales sobre arriostramiento lateral. Los miembros en flexión cuya profundidad supera el doble de su ancho y cargados alrededor del eje con mayor momento de inercia, I_x , deben estar arriostrados en los puntos de apoyo para impedir su rotación y desplazamiento lateral.

No se requiere arriostramiento lateral en el caso de miembros de sección transversal circular o cuadrada ni para miembros de sección rectangular flexionados sólo alrededor de su eje débil.

El arriostramiento lateral debe impedir el movimiento lateral de la cara comprimida por la flexión y el

desplazamiento rotacional del miembro en las ubicaciones de los arriostramiento.

Alternativamente, en el caso de los miembros de madera maciza aserrada, el arriostramiento para impedir rotaciones o desplazamientos laterales se debe proveer de la siguiente manera, en base a la relación profundidad/ancho, d/b , calculada en base a las dimensiones nominales:

- (a) $d/b \leq 2$: no se requiere apoyo lateral;
- (b) $2 < d/b < 5$: los extremos se deben mantener en su posición mediante tacos macizos de igual altura que el miembro, crucetas, clavos o bulones conectados a otros miembros del entramado, o mediante otros medios aceptables;
- (c) $5 \leq d/b < 6$: el borde comprimido debe tener apoyo lateral continuo en toda su longitud;
- (d) $6 \leq d/b < 7$: se deben instalar crucetas, tacos macizos de igual altura que el miembro o arriostramientos cruzados a intervalos no mayores que 8 ft. (2,4 m), a menos que ambos bordes se mantengan en línea o a menos que el borde comprimido del miembro tenga apoyo lateral continuo en toda su longitud mediante revestimiento u otros medios adecuados para impedir el desplazamiento lateral, y los extremos en los puntos de apoyo tengan un apoyo lateral que impida la rotación;
- (e) $d/b \geq 7$: ambos bordes se deben mantener en línea en toda su longitud.

5.2.1.3 Longitud efectiva sin apoyo lateral. La longitud efectiva no arriostrada de un miembro prismático en flexión o de un segmento de un miembro prismático en flexión a analizar mediante la ecuación general de pandeo lateral torsional, Ec. 5.2-8, se debe tomar como la longitud real entre los puntos de arriostramiento de la cara comprimida de la viga, ℓ_u .

Alternativamente, para miembros macizos de sección rectangular de ancho b y profundidad d , se puede utilizar la ecuación simplificada de pandeo crítico, Ec. 5.2-7. En esta ecuación se debe reemplazar la longitud real entre apoyos laterales, ℓ_u , por la longitud efectiva, ℓ_e , que toma en cuenta tanto el movimiento lateral como los fenómenos torsionales. Si se utiliza el enfoque de la longitud no arriostrada equivalente, ℓ_e se debe determinar como se indica en la Tabla 5.2-1.

Todas las vigas macizas de sección rectangular deben tener arriostramiento lateral de manera tal que la relación de esbeltez de la viga, R_B , no sea mayor que 50, siendo:

$$R_B = \sqrt{\frac{\ell_e d}{b^2}} \quad (5.2-1)$$

5.2.2 Resistencia al momento de vigas con apoyo lateral. Los requisitos de esta sección se deben limitar a los miembros flexionados de sección circular o cuadrada, a miembros rectangulares flexionados alrededor de su eje débil, a miembros con su cara comprimida provista de apoyo lateral continuo, y a miembros arriostrados de acuerdo con los requisitos alternativos de la Secc. 5.2.1.2. La resistencia al momento ajustada de un miembro prismático alrededor del eje resistente ($x-x$) es:

$$M' = M_x' = S_x F_{bx}' \quad (5.2-2)$$

donde $M' = M_x'$ es la resistencia al momento ajustada del miembro alrededor del eje resistente ($x-x$); S_x es el módulo de sección para flexión alrededor del eje resistente ($x-x$); F_{bx}' es la resistencia a la flexión ajustada para flexión alrededor del eje resistente ($x-x$); y C_L es el factor de estabilidad de vigas, igual a 1,0.

La resistencia al momento ajustada de un miembro prismático alrededor de su eje débil ($y-y$) es:

$$M' = M_y' = S_y F_{by}' \quad (5.2-3)$$

donde $M' = M_y'$ es la resistencia al momento ajustada del miembro alrededor del eje débil ($y-y$); S_y es el módulo de sección para flexión alrededor del eje débil ($y-y$); F_{by}' es la resistencia a la de flexión ajustada para flexión alrededor del eje débil ($y-y$); y C_L es el factor de estabilidad de vigas, igual a 1,0.

5.2.3 Resistencia al momento de miembros sin apoyo lateral total. Los requisitos de esta sección se aplican a miembros prismáticos flexionados que no cumplen con las limitaciones de la Secc. 5.2.2.

5.2.3.1 Resistencia y rigidez. Los valores del módulo de elasticidad utilizados en las ecuaciones de esta sección son los valores correspondientes al cinco por ciento, E_{05}' . Si los valores correspondientes al eje resistente y al eje débil son diferentes, se debe utilizar E_{y05}' .

Para el cálculo de F_{bx}' o para la Ec. 5.2-2, el factor de efecto volumétrico, C_v , para la madera laminada encolada se debe tomar igual a la unidad.

5.2.3.2 Vigas prismáticas. La resistencia al momento ajustada alrededor del eje resistente ($x-x$) de una viga prismática de sección rectangular sin arriostramiento lateral o de un segmento de la misma es:

$$M' = C_L S_x F_{bx}' \quad (5.2-4)$$

TABLA 5.2-1
Factores para determinar ℓ_e para miembros macizos de sección rectangular utilizando
el enfoque de la longitud no arriostrada equivalente.

Condición del tramo	Condición de carga	Condición de arriostramiento	ℓ_e		
			$\ell_u/d < 7$	$7 \leq \ell_u/d \leq 14,3$	$\ell_u/d > 14,3$
	Cualquier condición no listada a continuación		2,06 ℓ_u	1,84 ℓ_u	1,63 $\ell_u + 3d$
Tramo simple	carga concentrada en el centro del tramo	arriostrado sólo en los extremos	1,80 ℓ_u		1,37 $\ell_u + 3d$
	carga uniformemente distribuida	arriostrado sólo en los extremos			1,63 $\ell_u + 3d$
Voladizo	carga concentrada en el extremo no apoyado	--	2,06 ℓ_u		1,44 $\ell_u + 3d$
	carga uniformemente distribuida	--	1,87 ℓ_u		0,90 $\ell_u + 3d$
Long. del tramo, L	cargas concentradas espaciadas uniformemente:	arriostrado en cada carga concentrada:	1,33 ℓ_u	ℓ_e	
	una carga	$\ell_u = L/2$		1,11 ℓ_u	
	dos cargas	$\ell_u = L/3$		1,68 ℓ_u	
	tres cargas	$\ell_u = L/4$		1,54 ℓ_u	
	cuatro cargas	$\ell_u = L/5$		1,68 ℓ_u	
	cinco cargas	$\ell_u = L/6$		1,73 ℓ_u	
	seis cargas	$\ell_u = L/7$		1,84 ℓ_u	
Tramo con momentos de extremo iguales	--	--		1,84 ℓ_u	
					1,84 ℓ_u

El factor de estabilidad de vigas, C_L , se debe calcular como:

$$C_L = \frac{1 + \alpha_b}{2c_b} - \sqrt{\left(\frac{1 + \alpha_b}{2c_b}\right)^2 - \frac{\alpha_b}{c_b}} \quad (5.2-5)$$

donde:

$$\alpha_b = \frac{\phi_s M_e}{\lambda \phi_b M_x^*} \quad (5.2-6)$$

y S_x es el módulo de sección para flexión alrededor del eje resistente (x-x); M_x^* es la resistencia al momento para flexión alrededor del eje resistente (x-x) multiplicada por todos los factores de ajuste aplicables excepto C_{fu} , C_V y C_L ; $c_b = 0,95$; ϕ_s es el factor de resistencia para estabilidad = 0,85; y M_e es el momento de pandeo lateral elástico.

Si para determinar la longitud efectiva sin arriostramiento lateral, ℓ_e , se utilizan los requisitos de la Secc. 5.2.1.3 correspondientes a secciones rectangulares, el momento de pandeo lateral elástico se debe calcular como:

$$M_e = 2,40 E_{y05} \frac{I_y}{\ell_e} \quad (5.2-7)$$

5.2.3.3 Miembros de sección no rectangular.

Para el caso de miembros de sección no rectangular, a excepción de las viguetas de sección doble T, y cuando se utilizan los requisitos generales para determinar el momento de pandeo torsional lateral, el momento de pandeo se debe calcular como:

$$M_e = \frac{\pi C_b}{1,15 \ell_u} \sqrt{E_{y05}' I_y G' J} \quad (5.2-8)$$

donde ℓ_u es la longitud no arriostrada; E_{y05}' es el módulo de elasticidad ajustado para flexión alrededor del eje débil (y-y) correspondiente al cinco por ciento; I_y es el momento de inercia alrededor del eje débil; G' es el módulo de corte ajustado (se debe tomar como $E_{y05}'/16$ para miembros de madera maciza aserrada y miembros de madera laminada encolada); y J es la constante torsional. Para un miembro rectangular con una cara en la cual la menor dimensión es b y la mayor dimensión es d, J se debe tomar como:

$$J = \frac{db^3}{3} \left(1 - 0,63 \frac{b}{d}\right) \quad (5.2-9)$$

$C_b = 1,75 + 1,05 (M_1/M_2) + 0,3 (M_1/M_2)^2$ pero $C_b \leq 2,3$ cuando el mayor momento en la viga o segmento de viga analizado corresponde al extremo del segmento no arriostrado y donde M_1/M_2 es la relación entre el momento de extremo de menor magnitud, M_1 , y el momento de extremo de mayor magnitud, M_2 . M_1/M_2 es negativo cuando los momentos de extremo producen una curvatura simple.

$C_b = 1,0$ para voladizos no arriostrados y para miembros y segmentos de miembros no arriostrados en los cuales el mayor momento no corresponde a un extremo del segmento no arriostrado.

Cuando el factor de efecto volumétrico, C_V , no es igual a uno, la resistencia al momento ajustada de una viga sin arriostramiento lateral se debe tomar como el menor valor obtenido de las Ecs. 5.2-2 y 5.2-4.

La resistencia al momento de las vigas ahusadas sin arriostramiento lateral se debe determinar mediante un análisis racional.

5.2.3.4 Viguetas de madera de sección doble T.

La estabilidad lateral de las viguetas de madera de sección doble T se debe calcular de acuerdo con la Secc. 5.2.3.2, considerando las propiedades de la sección del ala de compresión exclusivamente. El ala de compresión se debe analizar como una columna completamente arriostrada en la dirección del alma.

5.3 Resistencia al momento de los conjuntos ensamblados

5.3.1 Alcance. A menos que se efectúe un análisis estructural completo que incluya los efectos de la repartición de cargas y la acción parcialmente compuesta o que se desprecien los beneficios de los efectos del conjunto, para determinar la resistencia al momento de conjuntos ensamblados estructurales revestidos se deben utilizar los requisitos de esta sección. Estos conjuntos incluyen pisos, muros y cubiertas de entramado liviano, y otras configuraciones estructurales compuestas por miembros flexionales paralelos unidos por un revestimiento.

Si se utiliza un análisis estructural basado en la repartición de cargas, las cargas se deben distribuir a cada miembro en base a la rigidez de dicho miembro en relación con la rigidez del conjunto.

En la Secc. 5.1.13 se dan requisitos para conjuntos ensamblados en paralelo (miembros armados). En la Secc. 6.6 se dan requisitos especiales para los cordones de cerchas revestidas.

5.3.2 Factores de ajuste para conjuntos cargados uniformemente. Esta sección incluye factores de ajuste para la resistencia, los cuales se deben aplicar conjuntamente con las hipótesis de áreas tributarias a fin de considerar el mejor comportamiento del conjunto en lo referente a su rigidez y resistencia con respecto al comportamiento de un miembro único.

5.3.2.1 Factor de acción compuesta. Al calcular las flechas estará permitido utilizar el siguiente factor de acción compuesta, C_E , para determinar la rigidez de los miembros de madera maciza aserrada, siempre que los conjuntos consistan en miembros de 12 in. (305 mm) de profundidad o menos, con sus ejes separados no más de 24 in. (610 mm) y conectados por medio de paneles estructurales de 15/32 in. (12 mm) de espesor o más:

- $C_E = 1,00$ para conjuntos clavados,
- $C_E = 1,10$ para conjuntos clavados y encolados,
- $C_E = 1,15$ para conjuntos abulonados y encolados.

Los conjuntos clavados y encolados incluyen paneles estructurales unidos al entramado utilizando tanto clavos con sus centros separados no más de 8 in. (205 mm) como un adhesivo elastomérico. Si el conjunto clavado y encolado no presenta aberturas, o si los elementos del revestimiento están conectados mediante juntas a ranura y lengüeta encoladas, estará permitido utilizar el factor correspondiente a conjuntos abulonados y encolados. El valor de C_E se debe tomar igual a la unidad en el caso de miembros revestidos con tablonos, tableros u otros productos similares que no constituyen paneles. El aumento de rigidez de las viguetas de sección doble T utilizadas en los conjuntos se debe calcular en base a los principios de la mecánica y la ingeniería.

5.3.2.2 Factor de repartición de cargas. Está permitido multiplicar la resistencia al momento de los conjuntos compuestos por tres o más miembros de entramado separados no más de 24 in. (610 mm) entre sus centros y conectados mediante elementos distribuidores de cargas adecuados para soportar la carga uniforme aplicada, tales como un revestimiento, por el siguiente factor de repartición de cargas, C_r :

- $C_r = 1,15$ para miembros de entramados de madera maciza aserrada;
- $C_r = 1,05$ para madera laminada encolada, vigas doble T y madera compuesta estructural;
- $C_r = 1,15$ para viguetas doble T prefabricadas con alas de madera clasificada visualmente;
- $C_r = 1,07$ para viguetas doble T prefabricadas con alas de madera aserrada ensayada mecánicamente; y
- $C_r = 1,04$ para viguetas doble T prefabricadas con alas de madera compuesta estructural.

El factor de repartición de cargas, C_r , se aplica sólo a la resistencia al momento. Para cerchas separadas no más de 24 in. (610 mm) entre sus centros y fabricadas con madera maciza aserrada, está permitido aplicar el factor de ajuste C_r igual a 1,15 para obtener la resistencia al momento ajustada, M' , de todos los miembros de la cercha.

5.4 Resistencia de los miembros sometidos a corte

5.4.1 Cálculo del esfuerzo de corte de diseño.

Cuando en una viga las cargas que provocan la flexión están aplicadas en la viga sobre la cara opuesta a la superficie de contacto de un apoyo, no es necesario incluir las cargas ubicadas en una distancia igual a la profundidad del miembro, d , desde la cara del apoyo del miembro en el cálculo del esfuerzo de corte requerido, excepto en el caso de las viguetas de sección doble T. Para otras condiciones de carga y para viguetas doble T, el esfuerzo de corte de diseño se debe tomar como el correspondiente a la cara del apoyo.

Para vigas y viguetas de sección doble T el corte de diseño se debe calcular considerando todas las cargas que actúan sobre la longitud libre más la mitad de la mínima

longitud de apoyo requerida. Si estos miembros son continuos sobre un apoyo, el corte de diseño se debe calcular en el centro del apoyo.

Cuando las cargas consisten en una única carga móvil, esta carga se debe colocar a una distancia, d , medida a partir de la cara del apoyo del miembro y se la debe incluir en el corte de diseño. Cuando las cargas incluyen dos o más cargas móviles, el patrón de cargas debe ser tal que el corte a la distancia, d , de la cara del apoyo del miembro sea máximo.

5.4.2 Resistencia al corte flexional. La resistencia al corte ajustada de un miembro en flexión, V' , se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$V' = \frac{F_v' I b}{Q} \quad (5.4-1)$$

donde F_v' es la resistencia al corte horizontal ajustada; I es el momento de inercia del miembro para flexión correspondiente a la dirección de corte analizada; b es el ancho del miembro; y Q es el momento estático de un área alrededor del eje neutro.

Para una sección rectangular de ancho, b , y profundidad, d , la Ec. 5.4-1 se simplifica y queda:

$$V' = \frac{2}{3} F_v' b d \quad (5.4-2)$$

Alternativamente, para miembros en flexión continuos o en voladizo de madera maciza aserrada, está permitido determinar la resistencia al corte ajustada en secciones ubicadas al menos tres veces la profundidad del miembro desde el extremo del miembro utilizando la Ec. 5.4-1 o la siguiente:

$$V' = \left(\begin{array}{l} V' \text{ de la Ec.} \\ 5.4-1 \text{ ó } 5.4-2 \end{array} \right) \left(1 + \frac{x-3d}{3d} \right) \quad (5.4-3)$$

pero $\leq 2 \left(\begin{array}{l} V' \text{ de la Ec.} \\ 5.4-1 \text{ ó } 5.4-2 \end{array} \right)$

donde x es la distancia desde el extremo del miembro.

Para miembros compuestos conectados rígidamente, los valores de I y Q de la Ec. 5.4-1 se deben basar en las propiedades de la sección transformada y la resistencia se debe limitar al valor en el cual el primer componente alcanza su resistencia al corte ajustada.

5.4.3 Resistencia al corte en la proximidad de las entalladuras. En las secciones entalladas de un miembro rectangular de profundidad, d , la resistencia al corte ajustada se debe calcular como:

$$V' = \left(\frac{2}{3} F_v' b d_n \right) \left(\frac{d_n}{d} \right) \quad (5.4-4)$$

donde d es la profundidad no entallada del miembro y d_n es la profundidad del miembro en la sección entallada.

Alternativamente, si en el extremo o los extremos de la entalladura hay un corte ahusado gradual que forma un ángulo θ con la dirección del grano para reducir la concentración de tensiones, está permitido calcular la resistencia al corte ajustada de la sección entallada como:

$$V' = \left(\frac{2}{3} F_v' b d_n \right) \left(1 - \frac{(d-d_n) \sin \theta}{d} \right) \quad (5.4-5)$$

5.4.4 Resistencia al corte en la proximidad de las conexiones. Cuando una conexión a un miembro flexionado transfiere un esfuerzo de magnitud suficiente para generar más de la mitad del esfuerzo de corte del miembro a cualquiera de los lados de la conexión, la resistencia ajustada al corte horizontal se debe calcular como:

$$V' = \left(\frac{2}{3} F_v' b d_e \right) \left(\frac{d_e}{d} \right) \quad (5.4-6)$$

donde d_e es la profundidad efectiva del miembro en una conexión, medida como la profundidad del miembro menos la distancia desde el borde no cargado del miembro hasta el borde más cercano de la conexión más cercana en el caso de aros partidos y placas de corte, o hasta el centro del sujetador más próximo al borde no cargado en el caso de otros tipos de sujetadores.

Alternativamente, cuando toda la conexión está a más de $3d$ de los extremos del miembro, está permitido calcular la resistencia ajustada al corte horizontal como:

$$V' = \left(\frac{2}{3} F_v' b d_e \right) \left[1 + \left(\frac{x-3d}{6d} \right) \right] \quad (5.4-7)$$

pero $\leq F_v' b d_e$

donde x es la distancia desde el extremo del miembro.

5.5 Resistencia de los miembros en torsión

La resistencia a la torsión ajustada, M_t' , de una viga maciza rectangular se debe calcular como:

$$M_t' = \frac{b^2 d^2 F_v'}{3d + 1.8b} \quad (5.5-1)$$

donde b es el ancho de la sección, la dimensión del lado más pequeño; d es la profundidad de la sección, la

dimensión del lado más grande; y F_{TV}' es la resistencia al corte torsional ajustada.

Para secciones no rectangulares la resistencia a la torsión ajustada del miembro se debe calcular en base a un análisis elástico lineal de la torsión utilizando F_{TV}' como la máxima resistencia al corte torsional.

Para la madera maciza aserrada, F_{TV}' se debe tomar como dos tercios de la resistencia al corte horizontal ajustada, F_V' . Para los miembros de madera laminada encolada, F_{TV}' se debe limitar a F_{rt}' , la resistencia a la tracción radial ajustada.

La resistencia torsional de los miembros estructurales compuestos queda fuera del alcance de esta norma y requiere una investigación especial.

5.6 Vigas curvas de madera laminada encolada de sección constante o de sección ahusada o entallada

5.6.1 Ajuste por curvatura de la resistencia al momento. La resistencia al momento ajustada de un miembro curvo de madera laminada encolada de sección transversal constante con apoyo lateral se debe multiplicar por el factor de curvatura, C_c :

$$C_c = 1 - 2000 \left(\frac{t}{R_f} \right)^2 \quad (5.6-1)$$

donde t es el espesor de las láminas, y R_f es el radio de curvatura en la cara interna de una lámina de un miembro curvo.

Los miembros curvos deben tener un R_f de al menos $100t$ en el caso de maderas duras y pino sureño, y de al menos $125t$ en el caso de otras maderas blandas.

5.6.2 Tracción y compresión radial en los miembros curvos. Al diseñar miembros curvos, miembros curvos ahusados o entallados y arcos se deben considerar las tracciones y compresiones radiales que se generan en estos miembros. La tracción radial se induce cuando los momentos aplicados disminuyen la curvatura (aumento del radio), y la compresión radial se induce cuando los momentos aplicados aumentan la curvatura (disminución del radio). En estas condiciones se aplican los requisitos de las Secc. 5.6.2.1 y 5.6.2.2.

5.6.2.1 Miembros curvos de sección transversal constante. Debido a los requisitos sobre esfuerzos radiales, la resistencia al momento ajustada de un miembro curvo de sección transversal rectangular constante está limitada al siguiente valor:

$$M' = \frac{2}{3} R_m b d F_r' \quad (5.6-2)$$

donde R_m es el radio de curvatura a la mitad de la profundidad de un miembro; b es el ancho del miembro; d es la profundidad del miembro; y F_r' es la resistencia

ajustada correspondiente a cargas que provocan esfuerzos radiales.

El valor de F_r' depende de que el esfuerzo aplicado sea de tracción o de compresión y de que haya o no refuerzo radial:

$F_r' = F_{rt}'$, resistencia a la tracción radial ajustada, cuando el esfuerzo radial es de tracción y no se provee refuerzo radial.

$F_r' = F_V'/3$ cuando el esfuerzo radial es de tracción, la especie es abeto douglas, pino hemlock u otras especies de madera blanda, y la carga de diseño es eólica o sísmica o bien se proporciona refuerzo para soportar la totalidad del esfuerzo radial.

$F_r' = F_{rc}'$, resistencia a la compresión radial ajustada, cuando el esfuerzo radial es de compresión. A menos que se especifique lo contrario, F_{rc}' se puede tomar como $F_{c\perp}'$, resistencia a la compresión perpendicular al grano ajustada.

Para el cálculo de M' , los esfuerzos radiales se deben ajustar solamente por temperatura y humedad.

5.6.2.2 Vigas laminadas encoladas de sección ahusada y entallada. El diseño de las vigas laminadas encoladas de sección ahusada y entallada, incluyendo los esfuerzos radiales, debe satisfacer los requisitos contenidos en el Apéndice A2.

5.7 Estancamiento

Los sistemas de las cubiertas se deben investigar mediante un análisis estructural de acuerdo con los requisitos del Apéndice A3.

CAPÍTULO 6

Miembros sometidos a flexión y carga axial

6.1 Generalidades

6.1.1 Alcance. Los requisitos de este capítulo se aplican a miembros sometidos a: (a) flexión alrededor de ambos ejes principales y/o flexión combinada con cargas axiales, ya sean de tracción o de compresión; y (b) columnas con carga excéntrica.

6.1.2 Diseño de los miembros. Las resistencias ajustadas de los miembros, M' , P' y T' , contenidas en las ecuaciones de interacción de este capítulo se deben calcular utilizando las ecuaciones dadas en los Capítulos 3, 4 y 5.

Muchos de los parámetros de las ecuaciones de interacción varían a lo largo del miembro. En estos casos el diseño del miembro se debe efectuar en base a los cálculos correspondientes a la sección más crítica del miembro.

En las ecuaciones de este capítulo se utilizan los siguientes factores de resistencia, ϕ :

Flexión	$\phi_b = 0,85$
Tracción paralela al grano	$\phi_t = 0,80$
Compresión paralela al grano	$\phi_c = 0,90$

El factor de efecto temporal, λ , se debe aplicar tal como lo requieren los Capítulos 3, 4 y 5 y también cuando esté incluido en las ecuaciones de este capítulo. En todos los términos de las ecuaciones de interacción se debe utilizar un único valor para el factor de efecto temporal, correspondiente al dado en la Tabla 1.4-2 para la combinación de cargas considerada.

6.2 Resistencia a la flexotracción

La resistencia de un miembro sometido a flexotracción debe ser controlada ya sea por la cara traccionada, para la cual la estabilidad lateral no constituye un problema, o por la cara comprimida cuando la tracción axial no es adecuada para impedir el pandeo torsional lateral. Se deben satisfacer las siguientes ecuaciones:

(a) Cara traccionada (se supone interacción con estabilidad lateral)

$$\frac{T_u}{\lambda\phi_t T'} + \frac{M_{ux}}{\lambda\phi_b M'_s} + \frac{M_{uy}}{\lambda\phi_b M'_y} \leq 1,0 \quad (6.2-1)$$

(b) Cara comprimida (interacción con tracción axial que reduce las condiciones para el pandeo torsional lateral):

$$\frac{\left(M_{ux} - \frac{d}{6} T_u\right)}{\lambda\phi_b M'_x} + \frac{M_{uy}}{\lambda\phi_b M'_y \left(1 - \frac{M_{ux}}{\phi_b M'_e}\right)^2} \leq 1,0 \quad (6.2-2)$$

Si el miembro no es rectangular el factor $d/6$ del primer término, donde d es la profundidad del miembro, se debe reemplazar por S_x/A , relación entre el módulo de sección correspondiente al eje resistente y la superficie total de la sección transversal.

(c) Interacción en la cara comprimida sin tracción axial.

Cuando la tracción no actúa simultáneamente con los momentos flectores, se debe satisfacer la Ec. 6.2-2 fijando la carga axial, T_u , igual a cero.

En las Ec. 6.2-1 y 6.2-2:

T_u = esfuerzo de tracción debido a las cargas factoreadas.

M_{ux}, M_{uy} = momento debido a las cargas factoreadas alrededor del eje resistente y el eje débil, respectivamente.

M'_x, M'_y = resistencia al momento ajustada alrededor del eje resistente y el eje débil, respectivamente, para las condiciones de arriostamiento lateral existentes.

M_e = momento de pandeo elástico lateral de la Secc. 5.2.3.

M'_s = M'_x calculado con el factor de estabilidad de vigas, C_L , igual a la unidad e incluyendo cualquier factor volumétrico, C_V .

6.3 Resistencia de miembros en flexión biaxial y flexocompresión

6.3.1 Vigas, columnas y miembros de entramados.

Para un miembro prismático cargado en flexión biaxial, o en compresión axial más flexión alrededor de uno o ambos ejes principales, se debe satisfacer la siguiente condición:

$$\left(\frac{P_u}{\lambda\phi_c P'}\right)^2 + \frac{M_{mx}}{\lambda\phi_b M'_x} + \frac{M_{my}}{\lambda\phi_b M'_y} \leq 1,0 \quad (6.3-1)$$

donde:

P_u = esfuerzo de compresión axial debido a las cargas factoreadas.

P' = resistencia ajustada para compresión axial actuando sola (sin momentos) para el eje de pandeo proporcionando el menor valor de P' .

M_{mx}, M_{my} = momento factoreado, incluyendo cualquier amplificación por efectos de segundo orden, para los ejes resistente y débil, respectivamente.

M'_x, M'_y = resistencia al momento ajustada para los ejes resistente y débil, respectivamente, de las ecuaciones del Capítulo 5 con $C_b = 1,00$.

En la Ec. 6.3-1 todos los términos deben ser positivos.

Si no se utiliza un análisis de segundo orden, los momentos amplificados, M_{mx} y M_{my} , se deben determinar utilizando las siguientes ecuaciones, que incluyen coeficientes independientes para los momentos de primer orden provocados por cargas que no ocasionan desplazamientos laterales apreciables, M_{bx} y M_{by} , y para los momentos de primer orden provocados por cualquier carga que actúa sobre un entramado rígido o un miembro en

voladizo ocasionando un desplazamiento lateral apreciable, M_{sx} y M_{sy} :

$$M_{mx} = B_{bx}M_{bx} + B_{sx}M_{sx} \quad (6.3-2)$$

$$M_{my} = B_{by}M_{by} + B_{sy}M_{sy} \quad (6.3-3)$$

donde:

M_{bx} , M_{by} = momento factoreado debido a cargas que no provocan un desplazamiento lateral apreciable de la estructura (ninguna traslación lateral), calculado mediante un análisis de primer orden convencional, ejes resistente (x-x) y débil (y-y), respectivamente.

M_{sx} , M_{sy} = momento factoreado debido a cargas que provocan un desplazamiento lateral apreciable (traslación lateral), calculado mediante un análisis de primer orden convencional, ejes resistente y débil, respectivamente.

En el caso de miembros no arriostrados contra el desplazamiento lateral, se deben calcular tanto B_{bx} y B_{by} como B_{sx} y B_{sy} . En el caso de miembros arriostrados para impedir el desplazamiento lateral apreciable, está permitido tomar B_{sx} y B_{sy} iguales a cero.

$$B_{bx} = \frac{C_{mx}}{\left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_{ex}}\right)} \geq 1,0 \quad (6.3-4)$$

$$B_{by} = \frac{C_{my}}{\left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_{ey}} - \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_e}\right)^2\right)} \geq 1,0 \quad (6.3-5)$$

$$B_{sx} = \frac{1}{\left(1 - \frac{\sum P_u}{\phi_c \sum P_{ex}}\right)} \geq 1,0 \quad (6.3-6)$$

$$B_{sy} = \frac{1}{\left(1 - \frac{\sum P_u}{\phi_c \sum P_{ey}}\right)} \geq 1,0 \quad (6.3-7)$$

donde:

P_{ex} , P_{ey} = resistencia crítica al pandeo alrededor de los ejes resistente (x-x) y débil (y-y), respectivamente.

$\sum P_u$ = sumatoria de los esfuerzos de compresión axial debidos a cargas las factoreadas de las columnas involucradas en el modo de

desplazamiento lateral considerado.

$\sum P_{ex}$, $\sum P_{ey}$ = sumatoria de la resistencia crítica al pandeo de las columnas involucradas en el modo de desplazamiento lateral considerado, con todas las columnas moviéndose con el desplazamiento lateral que flexiona el miembro investigado alrededor de su eje fuerte para $\sum P_{ex}$ o alrededor de su eje débil para $\sum P_{ey}$, respectivamente.

En el caso de un único miembro en voladizo, en estas sumatorias sólo se deben incluir las cantidades axiales para el único miembro.

Los factores que relacionan la forma del diagrama real de momentos con un diagrama de momentos uniforme equivalente, C_{mx} y C_{my} , para los ejes resistente y débil respectivamente, se debe tomar de la siguiente manera:

- (a) En el caso de miembros en compresión arriostrados para impedir la traslación lateral de los nudos, con sus extremos impedidos de rotar y que no están sometidos a cargas transversales entre sus apoyos y en el plano de flexión considerado:

$$C_m = 0,60 - 0,40 \left(\frac{M_1}{M_2}\right) \quad (6.3-8)$$

donde M_1/M_2 es la relación entre el momento de menor magnitud y el momento de mayor magnitud correspondientes a los extremos de esa porción del miembro no arriostrado en el plano de flexión considerado, siendo M_1/M_2 negativo para curvatura simple.

- (b) En el caso de miembros en compresión arriostrados para impedir la traslación de los nudos en el plano de carga considerado y sometidos a cargas transversales entre estos nudos, C_m se debe determinar mediante un análisis racional. Como una alternativa a dicho análisis, se pueden utilizar los valores siguientes:
- para miembros cuyos extremos están impedidos de rotar, $C_m = 0,85$;
 - para miembros cuyos extremos no están impedidos de rotar, $C_m = 1,00$.

6.3.2 Miembros de cerchas. Los requisitos de la Secc. 6.3.1 también se aplican a los miembros de las cerchas. Sin embargo, los miembros o segmentos de miembros que se extienden entre los nudos de una cercha se pueden analizar considerándolos arriostrados (sin traslación) en el plano de la cercha. En el caso del otro eje del miembro, si el miembro no está continuamente arriostrado por un revestimiento de cubierta, entrepiso o similar, para determinar la longitud no arriostrada lateralmente se debe considerar el arriostramiento lateral de los nudos de la cercha.

6.4 Columnas cargadas sobre ménsulas laterales

Las columnas cargadas por una ménsula lateral ubicada en el cuarto superior del segmento de columna no arriostrado se deben diseñar para las dos cargas equivalentes siguientes.

- Mover la carga axial que actúa sobre la ménsula, P_a , de manera que actúe como una carga concéntrica que se suma a las demás cargas axiales que actúan en la totalidad de la longitud de la columna.
- Añadir una carga lateral, P_s , a la mitad de la altura de la columna no arriostrada o segmento de columna no arriostrado, en la dirección que provoque un momento en la misma dirección que el provocado por la carga excéntrica real correspondiente a la ménsula:

$$P_s = \frac{3e_b \ell_{br} P_a}{\ell_u^2} \quad (6.4-1)$$

donde:

- ℓ_{br} = distancia entre la parte inferior de la columna o segmento de columna y la parte superior de la ménsula de la columna.
- e_b = excentricidad de la carga aplicada sobre la ménsula, es decir, la distancia horizontal entre la carga y el centroide de la sección de la columna.
- ℓ_u = longitud no arriostrada de la columna para pandeo correspondiente al momento de la ménsula.

Luego la columna se debe diseñar utilizando estas cargas y los requisitos de la Secc. 6.3.

Si la ménsula no se encuentra ubicada en el cuarto superior de la longitud no arriostrada del segmento de columna, se debe efectuar un análisis racional o bien se debe utilizar la Ec. 6.4-1 con $\ell_{br} = 0,75\ell_u$.

6.5 Arcos

El diseño de los arcos de madera laminada encolada estructural en flexocompresión debe satisfacer los requisitos contenidos en el Apéndice A2.

6.6 Cerchas

Las cerchas cubiertas por este capítulo incluyen (a) reticulados de componentes ensamblados y (b) cerchas prefabricadas con conectores patentados y componentes de madera.

6.6.1 Cordones de compresión revestidos de las cerchas. Está permitido multiplicar el momento de inercia con respecto al eje resistente, I_x , de un cordón comprimido revestido de una cercha por el factor de rigidez al pandeo, C_T , cuando se satisfacen las siguientes condiciones:

- la escuadría nominal del cordón es 2 x 4 o menor,
- el cordón es de madera aserrada,
- la orientación del cordón es con su cara ancha vertical,

- la longitud efectiva de pandeo del cordón es ≤ 96 in. (2,4 m),
- el revestimiento es panel estructural con un espesor $\geq 3/8$ in. (9,5 mm), y
- el revestimiento está unido de acuerdo con prácticas de clavado aprobadas.

Para estas condiciones el factor de rigidez al pandeo es:

$$C_r = 1 + \frac{K_M \ell_e}{E'_{05}} \quad (6.6-1)$$

donde:

ℓ_e = longitud no arriostrada efectiva utilizada en el diseño del cordón de compresión para carga de compresión axial.

$K_M = 2,3$ para madera estacionada hasta un contenido de humedad de 19% o menos en el momento de la fabricación de la madera contrachapada cuando ℓ_e se expresa en pulgadas y E'_{05} en ksi. ($K_M = 0,624$ cuando ℓ_e se expresa en mm y E'_{05} en kPa).

$K_M = 1,2$ para madera no estacionada o parcialmente estacionada en el momento de la fabricación de la madera contrachapada cuando ℓ_e se expresa en pulgadas y E'_{05} en ksi. ($K_M = 0,326$ cuando ℓ_e se expresa en mm y E'_{05} en kPa).

E'_{05} = módulo de elasticidad ajustado correspondiente al cinco por ciento.

CAPÍTULO 7

Conexiones mecánicas

7.1 Generalidades

7.1.1 Alcance. Este capítulo se aplica a las conexiones para miembros de madera y miembros a base de madera o para sus componentes. En este capítulo el término "miembros de madera" incluye tanto los miembros de madera maciza aserrada como los miembros fabricados a partir de materiales a base de madera. En este capítulo las referencias a bulones o clavijas se aplican sólo a los

bulones o clavijas con sus diámetros comprendidos en el rango de ¼ in. (6,3 mm) a 1 in. (25,4 mm) inclusive.

Las conexiones entre dos miembros de madera consisten en elementos de conexión (por ejemplo, escuadras de refuerzo, platabandas, flejes, ángulos y ménsulas) y conectores (por ejemplo, aros partidos, placas de corte) o sujetadores (por ejemplo, clavos, grampas, pernos, tornillos para madera, bulones, tirafondos y sistemas de sujeción patentados).

La notación correspondiente a la resistencia lateral, Z , Z' , se utiliza para referirse a la resistencia de toda la conexión y no a la resistencia de un conector individual. Además, la notación correspondiente a la resistencia al arrancamiento, Z_w , Z_w' , se refiere a la resistencia total al arrancamiento y no a la resistencia por unidad de penetración. Observar que estas notaciones son diferentes a las empleadas en la norma *National Design Specification*.

7.1.2 Diseño de las conexiones. Las conexiones se deben diseñar de modo tal que:

$$Z_u \leq \lambda \phi_z Z' \quad (7.1-1)$$

donde Z_u es el esfuerzo en la conexión debido a las cargas factoreadas; λ es el factor de efecto temporal aplicable dado en la Tabla 1.4-2; ϕ_z es el factor de resistencia para las conexiones = 0,65; y Z' es la resistencia ajustada de la conexión.

La resistencia ajustada de la conexión se debe determinar multiplicando la resistencia de referencia por los factores de ajuste aplicables dados en la Secc. 2.6 y en este capítulo. Para cada tipo de conexión la aplicabilidad de los factores de ajuste se debe determinar tal como se especifica en la Tabla 7.1-1.

7.1.3 Temas relacionados con los factores de ajuste para las conexiones. Cuando se lo aplica a las conexiones, el factor de servicio húmedo, C_M , no sólo se basa en las condiciones de uso sino que además se basa en las condiciones de fabricación. La condición de referencia de uso seco se refiere a conexiones que se fabrican a partir de materiales secos y que se utilizan en condiciones de servicio seco, según lo definido en la Secc. 2.6.

El factor de servicio húmedo no toma en cuenta los efectos de la corrosión. Si una conexión va a estar expuesta a un ambiente corrosivo, la resistencia de la conexión debe tomar en cuenta el efecto de la corrosión de los conectores o de los elementos de conexión metálicos. Los sujetadores que se utilicen para madera o productos con tratamientos químicos deben estar protegidos de acuerdo con el Apéndice A4 y con los documentos aplicables listados en la Secc. 1.2.

El factor de clavado para diafragmas, C_{di} , tratado en el Capítulo 9 de esta norma, sólo es aplicable en el caso del diseño de muros de cortante y diafragmas.

7.1.4 Factor de efecto temporal para las conexiones. En el caso de las conexiones no está permitido que el factor de efecto temporal, λ , sea mayor que 1,0.

Además, si la falla de un elemento de conexión o sujetador que no es de madera controla el diseño de la conexión, $\lambda = 1,0$.

7.2 Hipótesis sobre las propiedades de los materiales

Las resistencias de las conexiones calculadas utilizando los requisitos de este capítulo se basan en ciertas hipótesis específicas referidas a las propiedades de los materiales, tal como se discuten en esta sección.

7.2.1 Sujetadores, conectores y elementos de conexión. Todos los sujetadores y conectores y sus propiedades nominales deben cumplir con los requisitos mínimos del Apéndice A4 y de los documentos aplicables listados en la Secc. 1.2. Las placas metálicas, sujetadores y otros componentes metálicos deben estar diseñados para resistir los modos de falla aplicables (por ejemplo, tracción, flexión, pandeo, apoyo de metal sobre metal, y corte de los sujetadores).

7.2.2 Gravedad específica. La gravedad específica de diseño, G , a utilizar para calcular la resistencia al aplastamiento provocado por los sujetadores y para los demás requisitos para el diseño de las conexiones se debe basar en valores establecidos para la especie, grupo de especies o grado especificado en el diseño. La gravedad específica de diseño se debe basar en el peso y volumen secos.

La fabricación de madera laminada encolada estructural permite el empleo de diferentes grados y especies de madera en la parte superior, núcleo y parte inferior del miembro. Esto se debe tener en cuenta al diseñar las conexiones de las diferentes zonas del miembro.

7.2.3 Resistencia al aplastamiento provocado por los sujetadores. Para las conexiones que contienen pernos, tirafondos, pasadores o clavijas, la resistencia al aplastamiento, $F_{e\theta}$, de un miembro de madera cuya carga forma un ángulo θ con la dirección del grano es:

$$F_{e\theta} = \frac{F_{e\parallel} F_{e\perp}}{F_{e\parallel} \sin^2 \theta + F_{e\perp} \cos^2 \theta} \quad [7.1-4]$$

donde:

$F_{e\parallel}$, $F_{e\perp}$ = resistencia al aplastamiento provocado por los sujetadores paralela al grano y perpendicular al grano, respectivamente.

θ = ángulo del vector de la fuerza con respecto a una dirección paralela al grano, grados.

7.3 Hipótesis sobre la configuración de las conexiones

Las resistencias de las conexiones calculadas utilizando los requisitos de este capítulo se basan en ciertas hipótesis específicas referidas a la configuración de las conexiones,

tal como se discuten en esta sección. Se debe distinguir entre la separación entre sujetadores de una misma fila, también denominada equidistancia, y la separación entre filas de sujetadores.

7.3.1 Conexiones simples. En este capítulo las resistencias de las conexiones se basan en la hipótesis de restricción de los extremos dadas en la Secc. 1.4.2.2.

7.3.2 Apoyos. El diseño de los apoyos se debe efectuar de acuerdo con la Secc. 4.5. En las conexiones portantes se debe proveer una sujeción suficiente para mantener todos los miembros en línea.

7.3.3 Esfuerzo en los miembros en una conexión. La presencia de una conexión influye sobre la resistencia de los miembros estructurales. Como mínimo, se debe tomar en cuenta lo siguiente.

Superficie neta. Ver las Secc. 2.2.2 y 4.3.3. Para cargas paralelas al grano con bulones, tirafondos, pasadores o clavijas en tresbolillo, los sujetadores adyacentes se considerarán colocados en la sección crítica si la equidistancia entre sujetadores en dos filas adyacentes es menor que 4D, siendo D el diámetro del sujetador. Cuando hay placas de corte o aros partidos en tresbolillo, los conectores se considerarán colocados en la misma sección crítica si la separación paralela al grano entre los conectores en filas adyacentes es menor o igual que un diámetro del conector.

Esfuerzo de corte. Ver Secc. 5.4.4

Uniones excéntricas. Los grupos de sujetadores diseñados para transmitir fuerzas axiales a un miembro se deben dimensionar y ubicar de manera que el eje de cada miembro conectado intersecte el centro de resistencia efectiva del grupo de sujetadores, a menos que se considere explícitamente la excentricidad de las fuerzas transmitidas por los sujetadores (momentos). Los efectos de estas fuerzas excéntricas sobre las cargas de los sujetadores y los esfuerzos de los miembros se deben analizar de acuerdo con los principios establecidos de la mecánica y la ingeniería.

Tracción perpendicular al grano. Se deben evitar los diseños con cargas aplicadas por debajo del eje neutro (es decir, en la cara traccionada) de los miembros flexionados. Cuando sea imposible evitar esta condición de carga, se deben colocar refuerzos mecánicos para impedir la separación del grano.

7.3.4 Conexiones con diferentes tipos de sujetadores. El diseño de las conexiones en las cuales se utiliza más de un tipo o tamaño de sujetadores se debe basar en ensayos justificados por un análisis racional. Cuando se utilicen conjuntamente adhesivos y sujetadores mecánicos, para determinar la resistencia de diseño de la conexión se debe tomar en cuenta la diferencia de las rigideces.

7.3.5 Ubicación de los sujetadores

7.3.5.1 "Distancia al borde" es la distancia entre el borde de un miembro y el centro del sujetador más próximo, medida perpendicular al grano. Cuando un

miembro está cargado de forma perpendicular al grano, el borde cargado se define como el borde en la dirección hacia la cual actúa el sujetador. El borde no cargado se define como el borde opuesto al borde cargado (Fig. 7.3-1).

7.3.5.2 "Distancia al extremo" es la distancia medida en forma paralela al grano entre el extremo cortado en ángulo recto de un miembro y el sujetador más próximo (Fig. 7.3-1).

7.3.5.3 "Separación" es la distancia entre los centros de dos sujetadores, medida a lo largo de la línea que une sus centros (Fig. 7.3-1).

7.3.5.4 Una "fila de sujetadores" se define como dos o más sujetadores alineados con la dirección de la carga (Fig. 7.3-1).

7.3.5.5 "Equidistancia" es la separación de los sujetadores dentro de una fila.

7.3.6 Sujetadores múltiples. Las resistencias de las conexiones proporcionadas en este capítulo suponen que cada uno de los sujetadores de una conexión con múltiples sujetadores está igualmente cargada, a excepción de las modificaciones introducidas por C_g , factor que toma en cuenta la desigual repartición de cargas entre bulones, tirafondos, aros partidos, placas de corte y dispositivos similares. C_g no se debe aplicar en el caso de clavos o tornillos para madera. Para uniones excéntricas ver la Secc. 7.3.3.

7.3.6.1 Factor de acción combinada. Si una conexión contiene una o más filas de bulones, tirafondos, pasadores, clavijas, placas de corte, aros partidos o dispositivos similares, la resistencia de referencia de la conexión se debe multiplicar por C_g donde:

$$C_g = \frac{1}{n_f} \sum_{i=1}^{n_f} a_i \quad [7.3-1]$$

donde n_f es el número total de sujetadores de la conexión; n_r es el número de filas de la conexión; a_i es el número efectivo de sujetadores para la fila i debido a la desigual repartición de cargas en una fila, valor comprendido entre 1 y n_i ; y n_i es el número de sujetadores igualmente espaciados en la fila i , donde:

$$a_i = \left[\frac{m(1 - m^{2n_i})}{(1 + R_{EA} m^{n_i})(1 + m) - 1 + m^{2n_i}} \right] \left[\frac{1 + R_{EA}}{1 - m} \right]$$

$$m = u - \sqrt{u^2 - 1} \quad [7.3-2]$$

$$u = 1 + \gamma \frac{s}{2} \left(\frac{1}{(EA)_m} + \frac{1}{(EA)_s} \right)$$

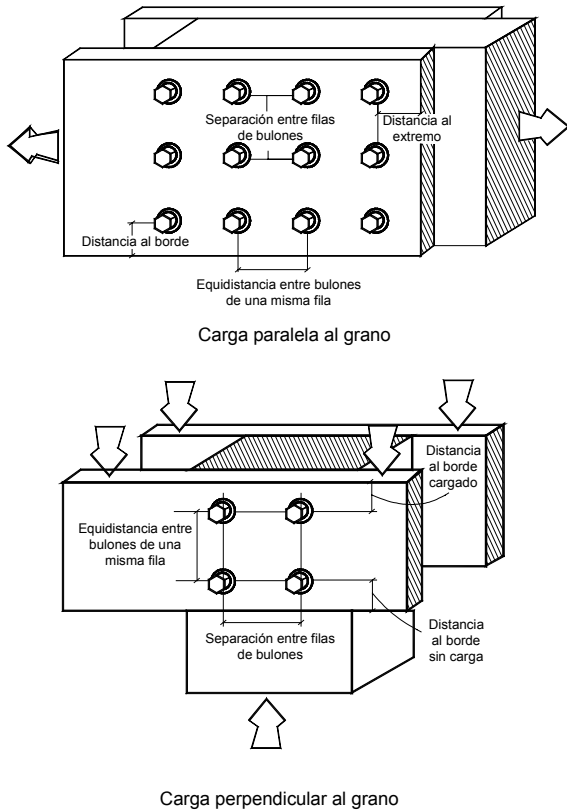


Figura 7.3-1. Geometría de las conexiones abulonadas

γ = constante de carga/deformación lateral para un solo sujetador. A menos que haya otros datos disponibles, γ se debe tomar como:

= 500 kip/in. (87,6 kN/mm) para placas de corte o aros partidos de 4 in. (102 mm),

= 400 kip/in. (70,1 kN/mm) para placas de corte de 2-5/8 in. (67 mm) o aros partidos de 2-1/2 in. (64 mm),

= $(180)(D^{1.5})$ kip/in. $(0,246 D^{1.5} \text{ kN/mm})$ para bulones, tirafondos, pasadores o clavijas en las conexiones madera a madera,

= $(270)(D^{1.5})$ kip/in. $(0,369 D^{1.5} \text{ kN/mm})$ para bulones, tirafondos, pasadores o clavijas en las conexiones madera a metal,

s = equidistancia entre sujetadores de una fila; medida entre centro y centro de los sujetadores de una fila,

$(EA)_m$ = rigidez axial; módulo de elasticidad medio del miembro principal, psi, multiplicado por la superficie de la sección transversal del miembro principal total antes de efectuar perforaciones o ranuras,

$(EA)_s$ = rigidez axial; módulo de elasticidad medio del miembro o los miembros laterales multiplicado por las superficies totales de las secciones

transversales de los miembros laterales antes de efectuar perforaciones o ranuras,

$$R_{EA} = \frac{(EA)_{\min}}{(EA)_{\max}}$$

$(EA)_{\min}$ = el menor entre $(EA)_m$ y $(EA)_s$,

$(EA)_{\max}$ = el mayor entre $(EA)_m$ y $(EA)_s$,

Si los sujetadores de filas adyacentes están dispuestos en tresbolillo, C_g se debe calcular en base a la equidistancia (entre centro y centro) entre sujetadores en filas adyacentes y a la separación entre filas de sujetadores. Se deben satisfacer los siguientes requisitos:

- (a) Si la separación entre filas adyacentes es menor o igual a la cuarta parte de la equidistancia entre sujetadores, las fijas adyacentes se consideran como una sola fila, correspondiendo n_i al número total de sujetadores en ambas filas. En el caso de un grupo de sujetadores con un número par de filas, este principio se aplica a cada par de filas; y en el caso de un grupo de sujetadores con un número impar de filas, se debe aplicar el menor valor calculado utilizando combinaciones de pares de filas.
- (b) Si la separación entre filas es mayor que la cuarta parte de la equidistancia entre sujetadores, para cada fila n_i corresponde al número de sujetadores en dicha fila.

7.4 Clavos y tornillos para madera

7.4.1 Generalidades

7.4.1.1 Alcance. Los siguientes requisitos se aplican al diseño de conexiones con clavos de alambre de sección circular con vástagos lisos o deformados y tornillos para madera. Estos requisitos se deben utilizar para diseñar sujetadores individuales y conexiones. Alternativamente, las conexiones para conjuntos fabricados utilizando paneles estructurales deben cumplir con los Capítulos 8 y 9.

7.4.1.2 Propiedades y dimensiones de los sujetadores. Los sujetadores deben cumplir con los requisitos del Apéndice A4 y con los documentos aplicables listados en la Secc. 1.2.

Los tornillos para madera deben cumplir con los requisitos de la norma ANSI/ASME B18.6.1. La longitud de la porción roscada de los tornillos para madera debe ser al menos dos tercios de la longitud del vástago.

La resistencia de las conexiones con clavos se debe determinar en base al diámetro del vástago del sujetador, D , y a la resistencia a fluencia por tracción o flexión, según lo requerido por este capítulo.

7.4.1.3 Instalación. Los tornillos para madera se deben instalar exclusivamente por rotación. Los clavos se deben introducir por impacto. Los clavos oblicuos se deben instalar formando un ángulo de aproximadamente treinta grados con el miembro, y su colocación se debe iniciar

aproximadamente a un tercio de la longitud del clavo a partir del extremo del miembro.

El diámetro de los orificios guía para clavos no debe ser mayor que:

para $G > 0,60$; = $(0,90) D$
 para $G \leq 0,60$; = $(0,75) D$

donde G es la gravedad específica y D es el diámetro del vástago.

En los miembros de madera los orificios guía de los tornillos para madera se deben perforar de la siguiente manera:

- (a) El orificio guía para el vástago debe tener un diámetro igual a:

para $G > 0,60$; = $(1,0) D$
 para $G \leq 0,60$; = $(0,875) D$

y su profundidad debe ser igual a la longitud no roscada del vástago.

- (b) El orificio guía para la porción roscada debe tener un diámetro igual a:

Resistencia lateral:

para $G > 0,60$; = $(1,0) D_R$
 para $G \leq 0,60$; = $(0,875) D_R$

Resistencia al arrancamiento:

para $G > 0,60$; = $(0,9) D_R$
 para $G \leq 0,60$; = $(0,7) D_R$

y su profundidad debe ser igual a la longitud de la porción roscada del tornillo para madera, siendo G la gravedad específica de la madera y D_R el diámetro de la raíz del tornillo para madera.

No estará permitida ninguna resistencia axial (arrancamiento) en el caso de tornillos para madera o clavos en orificios guía de mayor tamaño que los especificados en esta sección.

7.4.2 Separación de los sujetadores. La separación mínima de los clavos o tornillos para madera en una conexión simple será la siguiente:

Equidistancia entre sujetadores de una fila. Para cualquier ángulo de carga con respecto a la dirección del grano, la separación mínima entre sujetadores de una fila debe ser al menos 10D en el caso de placas laterales de madera y 7D en el caso de placas laterales metálicas.

Separación entre filas de separadores. Para cualquier ángulo de carga con respecto a la dirección del grano, la separación mínima entre filas debe ser 5D.

Distancia al extremo. distancia mínima entre el extremo del miembro y el centro del sujetador más cercano debe ser:

- para carga con tracción lateral: 15D (placas laterales de madera), 10D (placas laterales metálicas);
- para carga con compresión lateral: 10D (placas laterales de madera), 5D (placas laterales metálicas).

Distancia al borde. Para cualquier borde no cargado la mínima distancia entre el borde del miembro y el sujetador más próximo debe ser 5D, y para cualquier borde cargado, 10D.

TABLA 7.1-1
Aplicabilidad de los factores de ajuste para las conexiones para LRFD¹

Propiedad ajustada =	Propiedad de referencia x	Diafragma	Acción combinada	Geometría	Profundidad de penetración	Grano terminal	Placa lateral metálica	Clavo oblicuo
$Z' =$ $Z_w =$	$Z =$ $Z_w =$	C_{di}		Clavos	C_d	C_{eg} C_{eg}		C_{tn} C_{tn}
$Z' =$ $Z_w =$	$Z =$ $Z_w =$			Tornillos para madera	C_d	C_{eg}		
$Z' =$	$Z =$		C_g	Bulones C_{Δ}				
$Z' =$ $Z_w =$	$Z' =$ $Z_w =$		C_g	Tirafondos, pasadores C_{Δ}	C_d	C_{eg} C_{eg}		
$Z'_{ } =$ $Z'_{\perp} =$	$Z_{ } =$ $Z_{\perp} =$		C_g C_g	Placas de corte, aros partidos C_{Δ} C_{Δ}	C_d C_d		C_{st}	

¹Estos factores de ajuste se deben aplicar además de los factores de uso final dados en la Secc. 2.6.

7.4.3 Resistencia a las fuerzas laterales.

7.4.3.1 *Resistencia lateral de referencia: corte simple.* La resistencia lateral de referencia de una conexión con clavos o tornillos de acero para madera cargada perpendicularmente al eje del sujetador, instalada perpendicular a la cara del miembro y sometida a corte simple debe ser la mínima calculada utilizando todas las ecuaciones de la Tabla 7.4-1(a) (para clavos) o la Tabla 7.4-1(b) (para tornillos para madera) multiplicada por el número de sujetadores, n_f .

En el caso de conexiones con miembros laterales de acero, no se debe aplicar la ecuación correspondiente al modo de fluencia I_s de las Tablas 7.4-1(a) y (b), y la resistencia para ese modo se debe calcular como la resistencia para los sujetadores apoyados sobre miembros laterales de acero.

7.4.3.2 *Resistencia lateral de referencia: corte doble.* Para uniones que contienen tres miembros de madera con dos planos de corte en los sujetadores, la resistencia lateral de referencia debe ser dos veces la resistencia lateral de la unión de corte simple más débil, de acuerdo con lo ilustrado en las Figs. 7.4-1(b) y (c). El espesor del miembro central debe ser mayor que $6D$. Si la penetración del sujetador en el tercer miembro (ver Fig. 7.4-1) es menor que $12D$ para el caso de clavos, ó $7D$ para el caso de los tornillos para madera, entonces se debe aplicar el factor de profundidad de penetración, C_d , de acuerdo con lo especificado en la Secc. 7.4.3.3.

7.4.3.3 *Resistencia lateral ajustada.* La resistencia lateral ajustada, Z' , se debe calcular multiplicando la resistencia de referencia por los factores de ajuste aplicables listados en las Secc. 2.6 y 7.1.3. Además de los factores de ajuste de las Secc. 2.6 y 7.1.3 se deben aplicar los siguientes.

Profundidad de penetración. La resistencia lateral de referencia se debe multiplicar por el factor de profundidad de penetración, C_d , de la siguiente manera.

En el caso de los clavos la penetración real del vástago en el miembro que sostiene la punta, p , debe ser mayor o igual que $6D$.

$$\begin{aligned} \text{Para } 6D \leq p < 12D, & \quad C_d = p/12D. & (7.4-8) \\ \text{Para } p \geq 12D, & \quad C_d = 1,0. \end{aligned}$$

En el caso de tornillos para madera, la penetración real del vástago en el miembro que sostiene la punta, p , debe ser mayor o igual que $4D$.

$$\begin{aligned} \text{Para } 4D \leq p < 7D, & \quad C_d = p/7D. & (7.4-9) \\ \text{Para } p \geq 7D, & \quad C_d = 1,0. \end{aligned}$$

Grano terminal. En el caso de sujetadores insertados en el grano terminal de la madera, la resistencia lateral de referencia se debe multiplicar por el factor de grano terminal, $C_{eg} = 0,67$.

Conexiones con clavos oblicuos. En el caso de conexiones con clavos oblicuos, la resistencia lateral de referencia se debe multiplicar por el factor de clavo oblicuo, $C_{tn} = 0,83$.

7.4.4 Resistencia a los esfuerzos axiales

7.4.4.1 *Requisitos generales.* La resistencia de referencia de las conexiones con clavos o tornillos para madera con carga paralela al eje del sujetador debe ser el menor de (a) la resistencia a la tracción de los sujetadores o (b) la resistencia al arrancamiento del vástago.

7.4.4.2 *Resistencia a la tracción de los sujetadores.* La resistencia a la tracción de un clavo o tornillo para madera se debe determinar de acuerdo con prácticas aprobadas para el diseño de elementos metálicos, en base a la resistencia a la fluencia por tracción del sujetador en la sección correspondiente a la raíz. Para la resistencia a la tracción de los sujetadores el factor de efecto temporal, λ , se debe tomar igual a 1,0.

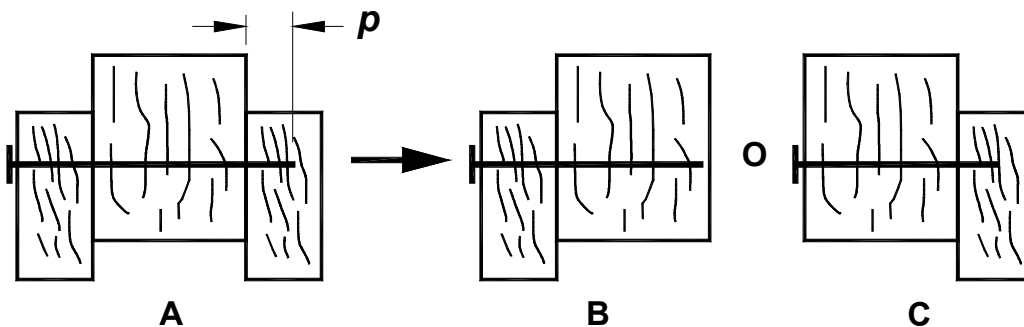


Figura 7.4-1. Conexión clavada con doble sección de corte; penetración incompleta en el miembro lateral

TABLA 7.4-1(a)
Resistencia lateral de referencia para clavos, Z:
un sujetador, conexión de dos miembros (corte simple).

Modo de fluencia	Ecuación aplicable
I,	$Z = \frac{3,3Dt_s F_{es}}{K_D} \quad (7.4-1)$
III _m	$Z = \frac{3,3k_1 D p F_{em}}{K_D (1+2R_e)} \quad (7.4-2)$
	donde: $k_1 = (-1) + \sqrt{2(1+R_e) + \frac{2F_{yb}(1+2R_e)D^2}{3F_{em}p^2}}$
III _s ,	$Z = \frac{3,3k_2 Dt_s F_{em}}{K_D (2+R_e)} \quad (7.4-3)$
	donde: $k_2 = (-1) + \sqrt{\frac{2(1+R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2+R_e)D^2}{3F_{em}t_s^2}}$
IV	$\frac{3,3D^2}{K_D} \sqrt{\frac{2F_{em}F_{yb}}{3(1+R_e)}} \quad (7.4-4)$

Nota: $R_e = F_{em}/F_{es}$
 p = penetración del vástago en el miembro que sostiene la punta.
 $K_D = 2,2$ para $D \leq 0,17"$ (4,3 mm)
 $= 10D + 0,5$ para $0,17" < D < 0,25"$ (0,38D + 0,56 para $4,4 \text{ mm} < D < 6,4 \text{ mm}$)
 $= 3,0$ para $D \geq 0,25"$ (6,24 mm)

TABLA 7.4-1(b)
Resistencia lateral de referencia para tornillos para madera, Z:
un sujetador, conexión de dos miembros (corte simple).

Modo de fluencia	Ecuación aplicable
I,	$Z = \frac{3,3Dt_s F_{es}}{K_D} \quad (7.4-5)$
III _s ,	$Z = \frac{3,3k_3 Dt_s F_{em}}{K_D (2+2R_e)} \quad (7.4-6)$
	donde: $k_3 = (-1) + \sqrt{\frac{2(1+R_e)}{R_e} + \frac{F_{yb}(2+R_e)D^2}{2F_{em}t_s^2}}$
IV	$\frac{3,3D^2}{K_D} \sqrt{\frac{1,75F_{em}F_{yb}}{3(1+R_e)}} \quad (7.4-7)$

Nota: $R_e = F_{em}/F_{es}$
 $K_D = 2,2$ para $D \leq 0,17"$ (4,3 mm)
 $= 10D + 0,5$ para $0,17" < D < 0,25"$ (0,38D + 0,56 para $4,4 \text{ mm} < D < 6,4 \text{ mm}$)
 $= 3,0$ para $D \geq 0,25"$ (6,24 mm)

7.4.4.3 *Resistencia al arrancamiento de referencia.* No estará permitida ninguna resistencia al arrancamiento en el caso de tornillos para madera o clavos instalados en el grano terminal de la madera.

La resistencia al arrancamiento de referencia de las conexiones con clavos de alambre de sección circular con vástagos no deformados en el grano lateral de la madera es:

$$Z_W = 4,59 D G^{2,5} p n_f \quad (7.4-10)$$

donde Z_W se expresa en kips; G es la gravedad específica del miembro que sostiene la punta; D es el diámetro del clavo, in.; n_f es el número de sujetadores; y p es la longitud del vástago en el miembro que sostiene la punta, in.

La ecuación métrica correspondiente para obtener Z_W en Newtons (N), con D y p expresados en mm, es:

$$Z_W = 31,6 D G^{2,5} p n_f \quad (7.4-10-M)$$

La resistencia al arrancamiento de clavos con vástagos deformados como por ejemplo mediante roscas helicoidales o aros anulares se debe determinar mediante ensayos o se debe calcular utilizando la Ec. 7.4-10 con D igual al menor diámetro del vástago.

La resistencia al arrancamiento de referencia de los tornillos para madera en el grano lateral de la madera es:

$$Z_W = 9,47 D G^2 p n_f \quad (7.4-11)$$

donde Z_W se expresa en kips; G es la gravedad específica del miembro que sostiene la punta; D es el diámetro nominal del tornillo, in.; n_f es el número de sujetadores; y p es la longitud de la porción roscada en el miembro que sostiene la punta, in.

La ecuación métrica correspondiente para obtener Z_W en Newtons (N), con D y p expresados en mm, es:

$$Z_W = 65,3 D G^2 p n_f \quad (7.4-11-M)$$

La longitud de penetración mínima del vástago de un tornillo para madera en el miembro principal debe ser el valor menor entre 1 in. (25,4 mm) o la mitad de la longitud nominal del tornillo.

La longitud de la porción roscada de un tornillo para madera se debe tomar como dos tercios de la longitud del vástago.

7.4.4.4 *Resistencia ajustada al arrancamiento del vástago.* La resistencia ajustada al arrancamiento del vástago, Z_W' , se debe calcular multiplicando la resistencia de referencia por los factores de ajuste aplicables de acuerdo con las Secc. 2.6 y 7.1.3. Además de los factores de ajuste de las Secc. 2.6 y 7.1.3, se deben aplicar los siguientes.

Conexiones con clavos oblicuos. En el caso de las conexiones con clavos oblicuos, la resistencia de

arrancamiento de referencia se debe multiplicar por el factor de clavo oblicuo, $C_m = 0,67$.

7.4.5 Combinación de fuerzas axiales y laterales. Las conexiones sometidas a cargas aplicadas formando un ángulo, α , con respecto a la superficie de la madera se debe diseñar de manera tal que:

$$\frac{Z_u \cos \alpha}{\lambda \phi_z Z'} + \frac{Z_u \sin \alpha}{\lambda \phi_z Z'_W} \leq 1,0 \quad (7.4-12)$$

donde α es el ángulo entre la dirección de la carga y la superficie de la madera, grados ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$); Z_u es la fuerza que actúa sobre la conexión debida a las cargas factoreadas; λ es el factor de efecto temporal aplicable dado en la Tabla 1.4-2; ϕ_z es el factor de resistencia para las conexiones = 0,65; Z' es la resistencia lateral ajustada; y Z'_W es la resistencia al arrancamiento ajustada.

7.5 Bulones, tirafondos, pasadores y clavijas

7.5.1 Generalidades

7.5.1.1 *Alcance.* Los siguientes requisitos se aplican al diseño de conexiones con sujetadores metálicos tipo clavija incluyendo bulones, tirafondos, pasadores o clavijas con $\frac{1}{4}$ in. (6,3 mm) $\leq D \leq 1$ in. (25,4 mm).

7.5.1.2 *Propiedades y dimensiones de los sujetadores.* Los sujetadores deben cumplir con los requisitos del Apéndice A4 y de los documentos aplicables de la Secc. 1.2. Para los bulones, tirafondos y pasadores el diámetro, D , será el diámetro nominal.

7.5.2 Instalación

7.5.2.1 *Orificios guía.* Los siguientes requisitos se aplican a los orificios guía para bulones, tirafondos, clavijas o pasadores instalados en madera o en materiales fabricados a base de madera. Los orificios se deben perforar de manera perpendicular a la superficie del miembro, a menos que en el diseño se analicen específicamente otros ángulos.

Los orificios guía deben estar alineados de manera precisa. Los orificios guía para bulones no deben ser mayores que $D + 1/32$ in. (0,8 mm) para $D < 0,5$ in. (12,7 mm) ni $D + 1/16$ in. (1,6 mm) para $D \geq 0,5$ in. (12,7 mm). Los orificios guía para pasadores se deben perforar con un diámetro entre 0- y $1/32$ in. (0,8 mm) más pequeño que el diámetro real del pasador.

Los orificios guía para tirafondos se deben perforar de la siguiente manera:

- El orificio para el vástago debe tener el mismo diámetro que el vástago y una profundidad igual a la longitud no roscada del vástago.
- El orificio guía para la porción roscada debe tener una longitud mínima igual a la porción roscada del tirafondo y un diámetro igual a los siguientes porcentajes del diámetro del vástago:

$G > 0,60$	$= (0,65)D$ a $(0,85)D$
$G > 0,50$ pero $\leq 0,60$	$= (0,60)D$ a $(0,75)D$
$G \leq 0,5$	$= (0,40)D$ a $(0,70)D$

donde G es la gravedad específica de la madera y D es el diámetro del vástago del tirafondo.

Para tirafondos con diámetros mayores se debe aplicar el mayor porcentaje de cada rango.

Cuando sea necesario facilitar su inserción e impedir que el tornillo resulte dañado, se debe aplicar jabón u otro lubricante que no sea a base de petróleo sobre los tirafondos o en el orificio guía.

7.5.2.2 Arandelas. Cuando la cabeza de un bulón o tirafondo o la tuerca de un bulón apoya contra una superficie de madera o de un material a base de madera, se debe colocar una arandela estándar, una placa metálica o una arandela de hierro maleable entre la madera o el material a base de madera y la cabeza o la tuerca. La mínima dimensión exterior de las arandelas debe ser igual a 2,5 veces el diámetro del vástago del bulón o tirafondo. El espesor mínimo de las arandelas debe ser de 1/8 in. (3,2 mm).

7.5.3 Separación de los sujetadores. Para los bulones, tirafondos, clavijas y pasadores la mínima distancia al borde requerida, la mínima distancia al extremo requerida y la mínima separación entre sujetadores requerida para desarrollar la resistencia de referencia deben cumplir con lo indicado en la Tabla 7.5-1. En la Secc. 7.5.4.2 se dan los factores de ajuste para distancias a los extremos reducidas y equidistancia entre separadores reducidas.

La separación perpendicular al grano entre los sujetadores más externos de una conexión no debe ser mayor que 5 in. (127 mm), a menos que se tome en cuenta el cambio dimensional de la madera.

En el caso de sujetadores en tresbolillo con carga paralela al grano, no hay ningún requisito para la equidistancia entre sujetadores en filas adyacentes. Sin embargo, para filas adyacentes separadas menos de 4D, se deben aplicar los requisitos sobre superficie neta de la Secc. 7.3.3.

No hay ningún requisito sobre separación mínima entre filas de sujetadores en tresbolillo con carga paralela al grano siempre que la equidistancia entre sujetadores en filas adyacentes sea mayor o igual que 4D. Si la equidistancia entre sujetadores en filas adyacentes es menor que 4D, se deben aplicar los requisitos sobre mínima separación entre filas de la Tabla 7.5-1.

7.4.5 Resistencia a las fuerzas laterales

7.5.4.1 Resistencia lateral de referencia. Las resistencias laterales de referencia presentadas en esta sección se aplican a las conexiones que consisten en un miembro principal de madera, acero, hormigón o

mampostería y uno o dos miembros laterales de acero o madera.

La resistencia lateral de referencia de una conexión será el menor valor hallado utilizando todas las ecuaciones de la Tabla 7.5-2(a), la Tabla 7.5-2(b) (para bulones o clavijas) o la Tabla 7.5-2(c) (para tirafondos), multiplicado por el número de sujetadores en la conexión, n_f .

La resistencia al aplastamiento provocado por los sujetadores, F_c , de los miembros principales de hormigón o mampostería se debe tomar igual a la resistencia al aplastamiento provocado por los sujetadores del miembro lateral de madera, y el espesor efectivo del miembro principal de hormigón o mampostería se debe tomar igual al doble del espesor del miembro lateral de madera. El anclaje de los sujetadores en el hormigón o la mampostería debe hacerse de acuerdo con prácticas de diseño aprobadas.

Para las conexiones con miembros laterales metálicos, no se debe aplicar la ecuación para el modo de fluencia I_s de las Tablas 7.5-2(a), (b) o (c). Para las conexiones con corte doble y miembros principales de acero, no se debe aplicar la ecuación correspondiente al modo de fluencia I_m de la Tabla 7.5-2(b). El diseño de los miembros de acero y los apoyos de los sujetadores se debe efectuar de acuerdo con prácticas de diseño aprobadas.

La resistencia al aplastamiento provocado por los sujetadores de los miembros de madera con carga que forma un ángulo θ con la dirección del grano se debe determinar de acuerdo con los requisitos de la Secc. 7.2.3.

7.5.4.2 Resistencia lateral ajustada. La resistencia lateral ajustada, Z' , se debe calcular multiplicando la resistencia de referencia por todos los factores de ajuste aplicables de acuerdo con las Secc. 2.6 y 7.1.3. Además de los factores de ajuste de las Secc. 2.6 y 7.1.3, se deben aplicar los siguientes.

Geometría. La resistencia lateral de referencia se debe multiplicar por el factor de geometría, C_Δ , donde C_Δ es el menor de los factores de geometría requeridos para distancia al extremo o equidistancia entre sujetadores.

Distancia al extremo. Cuando la distancia al extremo medida desde el centro del sujetador, a , es mayor o igual que el valor de a_{opt} especificado en la Tabla 7.5-1, entonces $C_\Delta = 1,0$.

$$\text{Cuando } a_{opt}/2 \leq a < a_{opt} \quad C_\Delta = a/a_{opt} \quad (7.5-14)$$

Equidistancia entre sujetadores. Cuando la equidistancia entre sujetadores, s , es mayor o igual que el valor de s_{opt} especificado en la Tabla 7.5-1, entonces $C_\Delta = 1,0$.

$$\text{Cuando } 3D \leq s < s_{opt} \quad C_\Delta = s/s_{opt} \quad (7.5-15)$$

TABLA 7.5-1.
Resumen de requisitos sobre distancia al borde, distancia al extremo y separación para conexiones con bulones, tirafondos, pasadores y clavijas

Carga paralela al grano	Dimensión mínima requerida para desarrollar la resistencia de diseño
Distancia al borde (b_{opt})	
$\ell_m/D \leq 6$ (Ver Nota 1)	1,5D
$\ell_m/D > 6$	Mayor de 1,5D ó ½ de la separación perpendicular al grano entre filas de sujetadores
Distancia al extremo (a_{opt})	
Miembros traccionados	7D
Miembros comprimidos	4D
Separación (s_{opt})	
Equidistancia entre sujetadores (paralela al grano)	4D
Separación entre filas (perpendicular al grano)	1,5D < 5 pulgadas (Ver Notas 2 y 3)
Carga perpendicular al grano	Dimensión mínima requerida para desarrollar la resistencia de diseño
Distancia al borde (b_{opt})	
Borde cargado	4D
Borde sin carga	1,5D
Distancia al extremo (a_{opt})	4D
Separación (s_{opt})	
Equidistancia entre sujetadores (paralela al grano)	Limitada por los requisitos del miembro unido (Ver Nota 3)
Separación entre filas (perpendicular al grano)	
$\ell_m/D \leq 2$	2,5D (Ver Nota 3)
$2 < \ell_m/D < 6$	$(5\ell_m + 10D)/8$ (Ver Nota 3)
$\ell_m/6 \geq 6$	5D (Ver Nota 3)

Notas:

1. ℓ_m se define como la longitud de un sujetador tipo clavija en un miembro principal o como la longitud total de un sujetador tipo clavija en los miembros laterales.
2. En las conexiones con arandelas se requieren separaciones mayores.
3. Para los sujetadores tipo clavija, la separación perpendicular al grano entre los sujetadores más externos de una conexión no debe ser mayor que 5 in. (127 mm), a menos que se coloquen platabandas separadas o se tomen en cuenta los cambios dimensionales de la madera.

Penetración. La penetración real del vástago y la rosca de un tirafondo en el miembro que sostiene la punta menos la longitud de la punta debe ser mayor o igual que 4D. La resistencia lateral de referencia de la conexión se debe multiplicar por el factor de profundidad de penetración, C_d , especificado a continuación.

$$\begin{aligned} \text{Para } 4D \leq p < 8D, & \quad C_d = p/8D. \\ \text{Para } p \geq 8D, & \quad C_d = 1,0 \end{aligned} \quad (7.5-16)$$

Grano terminal. La resistencia lateral de referencia de los tirafondos insertados en el grano terminal de la madera se debe multiplicar por el factor de grano terminal, $C_{eg} = 0,67$.

7.5.5 Resistencia a las fuerzas axiales.

7.5.5.1 Generalidades. La resistencia de referencia de las conexiones con tirafondos o bulones con carga paralela al eje del sujetador debe ser la menor de (a) la resistencia a la tracción del sujetador, (b) la resistencia al arrancamiento del tirafondo, o (c) la resistencia portante debajo de las arandelas u otros dispositivos colocados.

7.5.5.2 Resistencia a la tracción de los sujetadores. La resistencia a la tracción de un conector

tipo clavija se debe determinar de acuerdo con prácticas aprobadas para el diseño de elementos metálicos, en base a la resistencia a la fluencia por tracción del sujetador en la sección correspondiente a la raíz. Para la resistencia a la tracción de los sujetadores el factor de efecto temporal, λ , se debe tomar igual a 1,0.

7.5.5.3 Resistencia al arrancamiento de referencia. La longitud efectiva de penetración de la porción roscada de un tirafondo, p , debe ser la longitud real de la porción roscada en el miembro que sostiene la punta, menos la longitud de la punta. La p mínima debe ser 1 in. o la mitad de la longitud roscada, el valor que resulte menor.

La resistencia al arrancamiento de referencia de los tirafondos que cumplen con los requisitos de la norma ANSI/ASME B18.2.1 (1981) del grano lateral de la madera es:

$$Z_w = 5,98 D^{0,75} G^{1,5} p n_f \quad (7.5-17)$$

donde Z_w se expresa en kips; D es el diámetro del tirafondo (in.); G es la gravedad específica de la madera; p es la longitud de penetración del sujetador (in.); y n_f es el número de sujetadores.

La ecuación métrica correspondiente para obtener Z_w en Newtons (N), con D y p expresados en mm, es:

$$Z_w = 92,6 D^{0,75} G^{1,5} p n_f \quad (7.5-17-M)$$

7.5.5.4 Resistencia al arrancamiento ajustada.

La resistencia ajustada al arrancamiento, Z_w' , se debe calcular multiplicando la resistencia de referencia por los factores de ajuste aplicables de acuerdo con las Secc. 2.6

y 7.1.3. Además de los factores de ajuste de las Secc. 2.6 y 7.1.3, se deben aplicar los siguientes.

Grano terminal. La resistencia de referencia de los tirafondos insertados en el grano terminal de la madera se debe multiplicar por el factor de grano terminal, $C_{eg} = 0,75$.

7.5.5.5 Aplastamiento debajo de las arandelas.

La resistencia al aplastamiento debajo de una arandela o placa metálica se debe determinar de acuerdo con la Secc. 4.5.

TABLA 7.5-2(a)
Resistencia lateral de referencia para bulones o clavijas, Z:
un sujetador, conexión de dos miembros (corte simple)

Modo de fluencia	Ecuación aplicable
I_m	$Z = \frac{0,83 D t_m F_{em}}{K_\theta} \quad (7.5-1)$
I_s	$Z = \frac{0,83 D t_s F_{es}}{K_\theta} \quad (7.5-2)$
II	$Z = \frac{0,93 k_1 D F_{es}}{K_\theta} \quad (7.5-3)$ donde: $k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2(1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 R_e^3} - R_e(1 + R_e(1 + R_t))}{(1 + R_e)}$
III_m	$Z = \frac{1,04 k_2 D t_s F_{em}}{(1 + 2R_e) K_\theta} \quad (7.5-4)$ donde: $k_2 = (-1) + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2F_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em}t_m^2}}$
III_s	$Z = \frac{1,04 k_3 D t_s F_{em}}{(2 + R_e) K_\theta} \quad (7.5-5)$ donde: $k_2 = (-1) + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + R_e)D^2}{3F_{em}t_s^2}}$
IV	$z = \left(\frac{1,04 D^2}{K_\theta} \right) \sqrt{\frac{2F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}} \quad (7.5-6)$

Nota: $R_t = t_m/t_s$
 $R_e = F_{em}/F_{es}$
 $K_\theta = 1 + 0,25 (\theta/90^\circ)$

TABLA 7.5-2(b)
Resistencia lateral de referencia para bulones o clavijas, Z:
un sujetador, conexión de tres miembros (corte doble)

Modo de fluencia	Ecuación aplicable
I _m	$Z = \frac{0,83Dt_m F_{em}}{K_\theta} \quad (7.5-7)$
I _s	$Z = \frac{1,66Dt_s F_{es}}{K_\theta} \quad (7.5-8)$
III _s	$Z = \frac{2,08k_3 Dt_s F_{em}}{(2 + R_e) K_\theta} \quad (7.5-9)$
donde: $k_3 = (-1) + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + R_e)D^2}{3F_{em}t_s^2}}$	
IV	$Z = \left(\frac{2,08D^2}{K_\theta} \right) \sqrt{\frac{2F_{em}F_{yb}}{3(1 + R_e)}} \quad (7.5-10)$

Nota: $R_e = F_{em}/F_{es}$
 $K_\theta = 1 + 0,25 (\theta/90^\circ)$

TABLA 7.5-2(c)
Resistencia lateral de referencia para tirafondos, Z:
un sujetador, conexión de dos miembros (corte simple)

Modo de fluencia	Ecuación aplicable
I _s	$Z = \frac{0,83Dt_s F_{es}}{K_\theta} \quad (7.5-11)$
III _s	$Z = \frac{1,19k_4 Dt_s F_{em}}{(2 + R_e) K_\theta} \quad (7.5-12)$
donde: $k_4 = (-1) + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{F_{yb}(2 + R_e)D^2}{2F_{em}t_s^2}}$	
IV	$Z = \left(\frac{1,11D^2}{K_\theta} \right) \sqrt{\frac{1,75F_{em}F_{yb}}{3(1 + R_e)}} \quad (7.5-13)$

Nota: $R_e = F_{em}/F_{es}$
 $K_\theta = 1 + 0,25 (\theta/90^\circ)$

7.5.6 Resistencia a la combinación de fuerzas axiales y laterales. La resistencia ajustada de una conexión con tirafondos con una carga que forma un ángulo, α , con la superficie de la madera se debe calcular como:

$$Z'_\alpha = \frac{Z'Z'_w}{Z' \sin^2 \alpha + Z'_w \cos^2 \alpha} \quad (7.5-18)$$

donde α es el ángulo que forma la carga con la superficie de la madera, grados ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$), Z' es la resistencia

lateral ajustada y Z_w' es la resistencia al arrancamiento ajustada.

7.6 Placas de corte y aros partidos

7.6.1 Generalidades

7.6.1.1 Alcance. Los siguientes requisitos se aplican al diseño de conexiones madera-madera o madera-metal en las cuales se utilizan placas de corte o aros partidos, estando los miembros adyacentes asegurados mediante un bulón o un tirafondo sometido a fuerzas laterales (corte). Las fuerzas que no están contenidas en el plano pueden provocar una fuerte reducción de la resistencia lateral y, por lo tanto, deben ser evitadas.

Para conexiones fabricadas con miembros de madera de diferentes especies o grupos de especies, de acuerdo con lo definido en la NDS 1991 (*1991 National Design Specification*) para placas de corte y aros partidos, la resistencia de referencia se debe basar en el grupo de menor resistencia.

7.6.1.2 Unidad de conexión. A los fines del cálculo de la resistencia lateral de referencia, una unidad de conexión consiste en uno de los siguientes:

- Un aro partido con su bulón o tirafondo sometido a corte simple;
- dos placas de corte utilizadas espalda con espalda sobre las caras de contacto de una conexión madera-madera con su bulón o tirafondo sometido a corte simple; o
- una placa de corte con su bulón o tirafondo en corte simple utilizada juntamente con un miembro lateral de acero en una conexión madera-metal.

En cada bulón se debe colocar una tuerca y arandela, como se especifica en la Secc. 7.5.2.2. Cuando un miembro externo es una chapa o placa de acero con un espesor de al menos 1/8 in. (3,2 mm), no será necesario colocar la arandela, excepto a los fines de prolongar la longitud del bulón o tirafondo e impedir que el miembro metálico se apoye en la porción roscada del bulón o tirafondo utilizado junto con las placas de corte.

7.6.1.3 Propiedades e instalación de los conectores. Los conectores deben cumplir con los requisitos del Apéndice A4 y con los documentos aplicables listados en la Secc. 1.2. Las resistencias de referencia proporcionadas en la Secc. 7.6 se aplican sólo a conexiones en las que se utilizan placas de corte o aros partidos aprobados en miembros de madera o material a base de madera con muescas de espera. Las muescas de espera deben estar cortadas limpiamente a la profundidad adecuada de acuerdo con las instrucciones del fabricante, y el conector se debe colocar de manera de lograr el máximo apoyo en los miembros adyacentes.

7.6.2 Separación de los conectores. Las separaciones, A_{opt} , B_{opt} y s_{opt} (óptimas), la distancia al extremo, a_{opt} y la distancia a los bordes, b_{opt} , requeridas

para desarrollar la resistencia de referencia deben cumplir con lo especificado en las Tablas 7.6-1, 6.6-2 y 7.6-3. En la Secc. 7.6.3.2 se dan los factores de ajuste para distancias de extremo y de borde y para separaciones que son menores que las óptimas.

Si el extremo del miembro no está cortado en ángulo recto con respecto a su longitud, la distancia al extremo, según lo definido en 7.6.3.2, no debe ser menor que la distancia al extremo requerida para los miembros cortados en ángulo recto. En ningún caso la distancia perpendicular entre el centro del conector y el extremo inclinado de un miembro debe ser menor que la distancia al borde requerida.

7.6.3 Resistencia a las fuerzas laterales

7.6.3.1 Resistencia lateral de referencia en grano lateral. La resistencia lateral de referencia de una conexión con aros partidos o placas de corte empotrada en el grano lateral de los miembros y cargada de forma paralela al grano, $Z_{||}$, o cargada de forma perpendicular al grano Z_{\perp} , debe ser la correspondiente a un único conector multiplicada por el número de unidades de conexión.

7.6.3.2 Resistencia lateral ajustada en grano lateral. La resistencia lateral ajustada paralela al grano, $Z_{||}$, o con carga perpendicular al grano, Z_{\perp} , se debe calcular multiplicando la resistencia de referencia por los factores de ajuste aplicables de acuerdo con las Secc. 2.6 y 7.1.3. Además de los factores de ajuste de las Secc. 2.6 y 7.1.3, se deben aplicar los siguientes.

Placas laterales metálicas. Cuando se utilizan placas laterales metálicas en conexiones que contienen una placa de corte de 4 in. (102 mm) cargada en forma paralela al grano, estará permitido multiplicar la resistencia lateral de referencia por un factor de placa lateral metálica, C_{st} .

Profundidad de penetración. Cuando se utilizan tirafondos con aros partidos o placas de corte, la penetración de la rosca y el vástago de los tirafondos en el miembro que sostiene la punta, excluyendo la longitud de la punta debe, ser $p \geq 4D$. Si $p \geq 8D$, entonces $C_d = 1,0$. Si $4D \leq p < 8D$, entonces la resistencia lateral de referencia de la conexión se debe multiplicar por el siguiente factor de profundidad de penetración:

$$C_d = \frac{p}{8D} \quad (7.6-1)$$

Geometría. La resistencia lateral de referencia se debe multiplicar por el factor de geometría, C_{Δ} , donde C_{Δ} es el menor de los factores de geometría requeridos para distancia al borde, distancia al extremo o separación. En el caso de un grupo de conectores, para todos los conectores del grupo se debe utilizar el menor de los factores de geometría, C_{Δ} , calculados para cada uno de los conectores.

Distancia al borde. La Tabla 7.6-1 proporciona la distancia al borde, b_{opt} , requerida para desarrollar la resistencia de referencia y la mínima distancia al borde,

b_{min} , permitida para desarrollar la resistencia reducida para placas de corte o aros partidos instalados en el grano lateral de miembros cargados con un vector de fuerza ya sea paralelo o perpendicular al grano. Para conexiones donde el ángulo entre la carga y el grano está comprendido entre 45° y 90° , se debe aplicar la b_{opt} correspondiente a carga perpendicular al grano. Para ángulos que verifican $0^\circ < \theta < 45^\circ$, la distancia al borde cargado requerida para lograr la resistencia de referencia es:

$$b_{opt\theta} = \left(\frac{45^\circ - \theta}{45^\circ} \right) (b_{opt\perp} - b_{min\perp}) + b_{min\perp} \quad (7.6-2)$$

Cuando la distancia al borde cargado es $b_{min} \leq b < b_{opt\perp}$, la resistencia lateral de referencia perpendicular al grano de la conexión asociada con b_{opt} se debe multiplicar por:

$$C_{\Delta} = 0,17 \left(\frac{b - b_{min\perp}}{b_{opt\perp} - b_{min\perp}} \right) + 0,83 \quad (7.6-3)$$

Cuando el ángulo entre la carga y el grano no es 0° ni 90° , las resistencias de referencia de la conexión para carga paralela y perpendicular al grano, Z_{\parallel} y Z_{\perp} , se deben multiplicar por C_{Δ} .

Distancia al extremo. En la Tabla 7.6-2 se da la distancia al extremo, a_{opt} , requerida para desarrollar la resistencia de referencia y la mínima distancia al extremo permitida, a_{min} , para desarrollar la resistencia reducida correspondiente a placas de corte o aros partidos cargados de forma paralela o perpendicular al grano. Cuando el ángulo entre la carga y la dirección del grano satisface $0^\circ < \theta < 90^\circ$, a_{opt} y a_{min} se determinan mediante las siguientes ecuaciones:

$$a_{min\theta} = \left(\frac{\theta}{90^\circ} \right) (a_{min\perp} - a_{min\parallel}) + a_{min\parallel} \quad (7.6-4)$$

$$a_{opt\theta} = \left(\frac{\theta}{90^\circ} \right) (a_{opt\perp} - a_{opt\parallel}) + a_{opt\parallel} \quad (7.6-5)$$

Cuando la distancia al extremo es $a_{min} \leq a < a_{opt}$, la resistencia lateral de referencia se debe multiplicar por:

$$C_{\Delta} = 0,375 \left(\frac{a - a_{min\perp}}{a_{opt\perp} - a_{min\perp}} \right) + 0,625 \quad (7.6-6)$$

Cuando el extremo de un miembro no está cortado en ángulo recto, la distancia al extremo se debe tomar como la mínima distancia entre cualquier punto de la mitad central del diámetro del conector trazado perpendicular al eje del miembro, y el punto más cercano del extremo del miembro medida paralela al eje del miembro.

Separación. En la Tabla 7.6-3 se da la separación paralela al grano, A_{opt} , y la separación perpendicular al grano, B_{opt} , requerida para desarrollar la resistencia de referencia para algunos ángulos entre la carga y el grano, θ (Fig. 7.6-1). Para ángulos comprendidos entre los listados en la Tabla 7.6-3, los valores de A_{opt} y B_{opt} se deben determinar por interpolación lineal. Las separaciones A_{opt} y B_{opt} mínimas permitidas son iguales a $A_{opt}/2$ y $B_{opt}/2$, respectivamente.

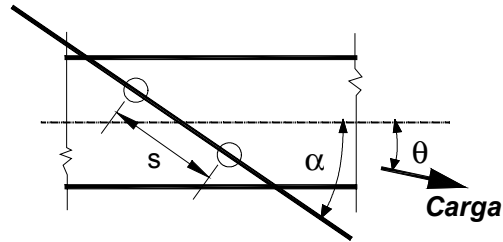


Figura 7.6-1. Ángulo entre el eje del conector y la dirección del grano, α ; ángulo entre la carga y la dirección del grano, θ .

TABLA 7.6-1
Distancias a los bordes para conexiones con aros partidos y placas de corte.¹

Conector	Diámetro del bulón (in.)	Mínima distancia al borde para la carga aplicada: ²			
		Paralela al grano ($b_{min\parallel} = b_{opt\parallel}$)	Perpendicular al grano		
			borde no cargado ($b_{min\perp} = b_{opt\perp}$)	borde cargado ($b_{min\perp}$)	borde cargado ($b_{opt\perp}$)
placa de corte de 2 5/8 in.	0,75	1,75	1,75	1,75	2,75
placa de corte de 4 in.	0,75 ó 0,875	2,75	2,75	2,75	3,75
aro partido de 2 1/2 in.	0,5	1,75	1,75	1,75	2,75
aro partido de 4 in.	0,75	2,75	2,75	2,75	3,75

1. Para conversión al sistema métrico, 1 in. = 25.4 mm.

2. b_{opt} = mínima distancia requerida para desarrollar la resistencia de referencia, b_{min} = mínima distancia para desarrollar la resistencia reducida (ver Secc. 7.6.2).

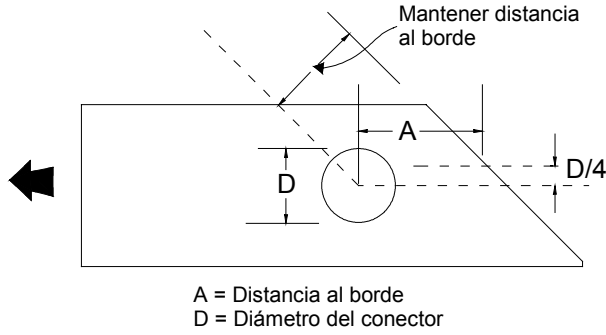


Figura 7.6-2. Distancia al extremo para miembros con cortes inclinados.

Cuando la línea que une los centros de conectores adyacentes forma un ángulo, $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, con respecto al grano (Fig. 7.6-1), la separación requerida para la resistencia de referencia es:

$$s_{opt} = \frac{A_{opt} B_{opt}}{\sqrt{A_{opt}^2 \sin^2 \alpha + B_{opt}^2 \cos^2 \alpha}} \quad (7.6-7)$$

donde s_{opt} es la separación requerida a lo largo del eje del conector para desarrollar la resistencia de referencia de la conexión; α es el ángulo del eje del conector, grados; y A_{opt} , B_{opt} son parámetros tomados de la Tabla 7.6-3.

La mínima separación permitida, s_{min} , asociada con α es $s_{opt}/2$.

Cuando la separación entre los aros partidos o las placas de corte es $s_{min} \leq s < s_{opt}$, la resistencia lateral de referencia se debe multiplicar por:

$$C_{\Delta} = 0,5 \left(\frac{s - s_{min}}{s_{opt} - s_{min}} \right) + 0,5 \quad (7.6-8)$$

La resistencia lateral ajustada, Z'_{θ} , de una conexión con placas de corte o aros partidos cargados con un ángulo θ con respecto al grano es:

$$Z'_{\theta} = \frac{Z'_{\parallel} Z'_{\perp}}{Z'_{\parallel} \sin^2 \theta + Z'_{\perp} \cos^2 \theta} \quad (7.6-9)$$

TABLA 7.6-2
Distancias a los extremos para conexiones con aros partidos y placas de corte.¹

Diámetro del aro partido (in.)	Diámetro de la placa de corte (in.)	Distancias a los extremos ²	Tracción (in.)	Compresión (in.)
Carga paralela al grano				
2½	2⅝	$a_{opt\parallel}$	5½	4
2½	2⅝	$a_{min\parallel}$	2¾	2½
4	4	$a_{opt\parallel}$	7	5½
4	4	$a_{min\parallel}$	3½	3¼
Carga perpendicular al grano				
2½	2⅝	$a_{opt\perp}$	5½	5½
2½	2⅝	$a_{min\perp}$	2¾	2¾
4	4	$a_{opt\perp}$	7	7
4	4	$a_{min\perp}$	3½	3½

1. Para conversión al sistema métrico, 1 in. = 25.4 mm.

2. a_{opt} = mínima distancia requerida para desarrollar la resistencia de referencia, a_{min} = mínima distancia para desarrollar la resistencia reducida (ver Secc. 7.6.2).

TABLA 7.6-3
Parámetros para calcular la separación de los conectores.¹

Tipo y tamaño de los conectores	Ángulo entre la carga y el grano (grados)	A_{opt}^2 (in.)	B_{opt}^3 (in.)
aro partido de 2½ in. o placa de corte de 2⅝ in.	0	6¾	3½
	15	6	3¾
	30	5⅞	3⅞
	45	4¼	4⅞
	60-90	3½	4¼
aro partido de 4 in. o placa de corte de 4 in.	0	9	5
	15	8	5¼
	30	7	5½
	45	6	5¾
	60-90	5	6

1. Para conversión al sistema métrico, 1 in. = 25.4 mm.

2. a_{opt} = mínima distancia requerida para desarrollar la resistencia de referencia, a_{min} = mínima distancia para desarrollar la resistencia reducida (ver Secc. 7.6.2).

donde Z_{\parallel} y Z_{\perp} son las resistencias ajustadas de la conexión para carga paralela al grano y perpendicular al grano, lb.; y θ es el ángulo que forma el vector de la fuerza con respecto a una dirección paralela al grano, grados.

7.6.3.3 *Resistencia de referencia en grano terminal.* Las placas de corte y aros partidos empotrados en el grano terminal de un miembro se deben diseñar de acuerdo con el Apéndice A5.

CAPÍTULO 8

Paneles estructurales

8.1 Alcance

Este capítulo se aplica a los siguientes paneles estructurales: madera contrachapada, strandboard orientado y paneles compuestos.

El diseño de conjuntos fabricados con paneles debe cumplir con los requisitos incluidos en el Apéndice 6.

8.2 Requisitos de diseño

A menos que en este capítulo se indique lo contrario, los requisitos de diseño especificados en otras secciones de esta norma son aplicables a los paneles estructurales.

8.2.1 Condiciones de referencia. Las condiciones de referencia dadas en la Secc. 2.5 son aplicables a los paneles estructurales con las siguientes excepciones:

- Los valores de la resistencia de referencia se aplican para exposición continua a temperaturas de 100°F (32°C) e inferiores. Los paneles estructurales no deben estar expuestos a temperaturas de más de 200°F (93°C) durante períodos prolongados. Para condiciones de temperaturas sostenidas de entre 100°F y 200°F se deben aplicar los ajustes por temperatura.
- Los valores de rigidez y resistencia de referencia son aplicables a paneles de 24 in. (610 mm) de ancho o más. Para paneles de menor ancho se debe utilizar el factor de ancho especificado en la Secc. 2.6.5.

8.2.2 Especificación de los paneles estructurales

Los paneles estructurales se deben especificar por su clasificación por longitudes, espesor nominal, clasificación por exposición y grado.

8.3 Resistencia de referencia

8.3.1 Rigidez del panel y resistencia de referencia factoreada. La rigidez del panel y la resistencia de referencia factoreada se deben utilizar en el diseño del panel estructural. Estos valores de capacidad de carga, que representan el producto de las propiedades del material y de la sección, se deben determinar a partir de ensayos efectuados de acuerdo con normas aprobadas.

Debido a la naturaleza ortótropa de los paneles, es necesario proveer valores de resistencia para el eje de resistencia primario y para el eje de resistencia secundario. Al diseñar cada una de las orientaciones del panel se deben aplicar los valores tabulados correspondientes. Cuando hay fuerzas que actúan formando un ángulo con los ejes principales del panel, la resistencia del panel correspondiente a dicho ángulo se debe calcular ajustando los valores tabulados para los ejes principales de acuerdo con los principios de la mecánica y las prácticas de la ingeniería.

8.3.2 Resistencia de referencia y propiedades elásticas de los materiales. Cuando sea necesario, la resistencia de referencia y los parámetros elásticos se deben calcular a partir de la resistencia de referencia factoreada y la rigidez, respectivamente, sobre la base de las propiedades tabuladas para la sección de diseño.

8.4 Propiedades de la sección de diseño

8.4.1 Espesor de diseño. En los cálculos de diseño se debe utilizar el espesor nominal. Las relaciones entre la clasificación por longitudes y los espesores nominales se proporcionan junto con las capacidades de diseño asociadas.

8.4.2 Propiedades de la sección de diseño. Las propiedades de la sección de diseño se deben asignar en base a la clasificación por longitudes o al espesor de diseño, y se proporcionan por pie de ancho del panel.

8.5 Diseño

8.5.1 Procedimientos aplicables. Los procedimientos normalizados proporcionados en esta norma son aplicables al diseño de paneles estructurales, con las excepciones observadas en esta sección.

8.5.2 Flexión de canto. Los paneles estructurales se deben diseñar para capacidad flexional verificando los estados límites correspondientes a momento flector, corte y deformación. El corte rasante se debe utilizar como la resistencia al corte cuando se verifica el estado límite de corte para paneles en flexión de canto. Para cada estado límite se deben utilizar ecuaciones adecuadas con las longitudes de diseño definidas a continuación.

- Momento flector - distancia entre los ejes de los apoyos.
- Corte - longitud libre.
- Deformación - longitud libre más la mitad del espesor nominal del panel.

8.5.3 Tracción en el plano del panel. Los requisitos del Capítulo 3 se aplican para el diseño a la tracción axial de los paneles estructurales, con los siguientes requisitos adicionales.

Cuando los paneles estructurales están traccionados axialmente, para calcular la resistencia a la tracción se debe considerar la orientación del eje de resistencia primario del panel con respecto a la dirección de la carga.

8.5.4 Compresión en el plano del panel. Los requisitos del Capítulo 4 se aplican al diseño a la compresión de paneles estructurales, con los siguientes requisitos adicionales.

- (a) Cuando los paneles estructurales están comprimidos axialmente, para calcular la resistencia a la compresión se debe considerar la orientación del eje de resistencia primario del panel con respecto a la dirección de la carga.
- (b) Los paneles se deben diseñar de manera de impedir el pandeo.

8.5.5 Corte de los paneles. Cuando la fuerza de corte se aplica paralela al plano de los paneles estructurales, el corte de los paneles se debe utilizar como la resistencia de diseño.

Tabla 1.4-2; ϕ_z es el factor de resistencia para muros de cortante o diafragmas limitados por la resistencia de los sujetadores = 0,65; y D' es la resistencia de diseño ajustada del muro de cortante o diafragma por unidad de longitud.

La resistencia ajustada se debe determinar utilizando los factores de ajuste aplicables especificados en la Secc. 2.6 y en este capítulo.

9.2.1 Principios de diseño. Los muros de cortante y diafragmas se deben diseñar ya sea de acuerdo con la siguiente analogía de la viga o, alternativamente, mediante procedimientos de análisis estructural más elaborados. El diseño debe considerar el revestimiento, el entramado, los sujetadores y el orden de colocación de los mismos, todos los miembros de borde, los empalmes de los miembros de borde, los puntales y todas las conexiones requeridas.

La transferencia de esfuerzos a un sistema portante no cubierto por esta norma deberá hacerse de acuerdo con los requisitos del código de construcción aplicable.

9.2.1.1 Los muros de cortante, los diafragmas y los elementos que los componen se deben analizar como vigas angostas y profundas, con el revestimiento resistiendo el corte en el plano (como el alma de una viga) y los miembros de borde resistiendo las cargas axiales (como las alas de una viga). Se deben proveer elementos de borde en el perímetro de los muros de cortante y diafragmas y en las aberturas interiores, discontinuidades y esquinas reentrantes, a menos que un análisis demuestre que no son necesarios. Se deben tomar recaudos para disipar los esfuerzos de los elementos de borde en las aberturas y discontinuidades hacia el cuerpo del muro de cortante o diafragma.

9.2.1.2 Se deben proveer miembros de borde en los perímetros de los muros de corte y diafragmas, en todas las aberturas interiores, y en todas las discontinuidades y esquinas reentrantes a menos que un análisis demuestre que son redundantes.

9.3 Resistencia requerida

La resistencia requerida del muro de cortante o diafragma es establecida por el caso determinante de cargas laterales factoreadas. La determinación del caso determinante de cargas laterales factoreadas debe incluir las cargas de viento o sísmicas que actúan a lo largo de cada uno de los ejes principales de la estructura y los efectos ortogonales de acuerdo con lo especificado en el código de construcción aplicable o la norma ASCE 7-93.

9.4 Resistencia de referencia

9.4.1 Resistencia al corte en el plano. La resistencia de referencia al corte en el plano, D , se debe obtener de tablas aprobadas o se debe determinar utilizando los principios de la mecánica. Cuando la resistencia al corte se determine utilizando los principios de la mecánica, la resistencia del revestimiento compuesto por panel estructural se debe investigar de acuerdo con el requisito del Capítulo 8 de esta norma.

CAPÍTULO 9

Muros de cortante y diafragmas

9.1 Generalidades

9.1.1 Alcance. Los requisitos de diseño de este capítulo se aplican a muros de cortante (diafragmas verticales) y diafragmas horizontales revestidos con paneles estructurales o madera aserrada que actúan como elementos del sistema resistente a cargas laterales.

9.2 Diseño de muros de cortante y diafragmas

Los muros de cortante y diafragmas se deben diseñar de manera que:

$$D_u \leq \lambda \phi_z D' \quad (9.2-1)$$

donde D_u es el esfuerzo del diafragma debido a las cargas factoreadas (esfuerzo por unidad de longitud); λ es 1,0 para diseño a las cargas laterales (de viento o sísmicas) de la

9.4.1.1 Resistencia al corte en el plano ajustada.

La resistencia al corte en el plano ajustada, D' , se debe calcular de acuerdo con las Secc. 2.6, 7.1.3 y 7.4.3.3. Además de los factores de ajuste listados en las secciones mencionadas, se deben aplicar los siguientes.

Factor de diafragma. En el caso de los diafragmas clavados que cumplen con los requisitos de este capítulo, la resistencia calculada para el diafragma se debe multiplicar por el factor de diafragma, C_{di} , igual a 1,1.

9.4.2 Resistencia de los elementos de borde. La resistencia de referencia de los elementos de borde, incluyendo los cordones y los puntales de los muros de cortante y diafragmas y sus conexiones, se debe determinar de acuerdo con los requisitos de los Capítulos 1 a 8 de esta norma.

9.4.3 Transferencia de corte en los bordes de los muros de cortante y diafragmas. La resistencia de referencia de los sujetadores en todos los bordes perimetrales e interiores de los muros de cortante y diafragmas se deben determinar de acuerdo con la Secc. 9.4.1 o con el Capítulo 7, según corresponda.

9.5 Otras consideraciones para el diseño

Los muros de cortante y diafragmas se deben dimensionar para estados límite de servicio de acuerdo con los requisitos del Capítulo 10.

CAPÍTULO 10

Consideraciones sobre los estados límites de servicio

10.1 Consideraciones generales

El diseñador debe considerar los estados límites de servicio que incluyen pero no se limitan a las deformaciones a corto plazo, las vibraciones, la fluencia lenta, los cambios dimensionales y los efectos del deterioro. Los estados límite de servicio se deben verificar utilizando cargas no factoreadas. Se debe limitar la deformación bajo las cargas especificadas para evitar que se dañen los elementos estructurales o los elementos no estructurales unidos a los mismos. Para los requisitos sobre los estados límites de servicio consulte los códigos de construcción vigentes.

10.2 Rigidez de los materiales y miembros

El módulo de elasticidad utilizado para calcular las deformaciones de los miembros, entramados y componentes debe ser el valor medio ajustado, E' .